

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

(підпис)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття освітнього ступеня магістр**

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води з розробкою теплообмінника «труба в трубі» і ректифікаційної колони**

**Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-71мп**

Мішуков Станіслав Геннадійович

**Керівник проекту** канд. техн. наук, доц. І.А. Андреев

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун

розробка стартап-проекту

доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна

технологія виготовлення ковпачка тарілки колони

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

автоматичний контроль і керування процесом

ст. викл., канд. техн. наук А.Р. Степанюк

**Рецензент**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ С.Г. Мішуков

Київ – 2018

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**Освітній ступінь – магістр**

**спеціальність:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Мішукову Станіславу Геннадійовичу

**1. Тема магістерської дисертації:** «Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води з розробкою теплообмінника «труба в трубі» і ректифікаційної колони»

керівник магістерської дисертації Андреев І.А. кандидат технічних наук, доцент

затверджена наказом по університету від 12 листопада 2018 р. № 4139-с

**2. Термін подання студентом магістерської дисертації:** 07 грудня 2018 р.

**3. Вихідні дані до дисертації:** Продуктивність теплообмінника 0,756 кг/с. Температури дистиляту: початкова – 337 К, кінцева – 303 К. Температури води: початкова – 293 К, кінцева – 317 К. Продуктивність ректифікаційної колони 2,22 кг/с. Вміст суміші: метанол – 35%, вода – 65%. Вміст метанолу у дистиляті 97%. Кубовий залишок 3%.

#### 4. Зміст пояснювальної записки:

- а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій теплообмінника та ректифікаційної колони, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, параметричний, конструктивний, гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;
- б) розробка стартап-проекту;
- в) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;
- г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою, скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;
- д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення ковпачка тарілки ректифікаційної колони, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для витяжки.

**5. Перелік графічного матеріалу:** принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення: теплообмінник – А0, ректифікаційна колона – А0, царга – А1, опора – А1, тарілка – А2, елемент – А3, штамп для першої витяжки ковпачка – А1, ілюстрація порівняння модернізованого теплообмінника зі стандартним – А1×2.

#### 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Розробка стартап-проекту	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення ковпачка ректифікаційної колони	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Степанюк А.Р.		

#### 7. Дата видачі завдання 1 вересня 2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання	Примітка керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності дисертації.	05.09.18	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	10.09.18	
3	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції апарату. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	14.09.18	
4	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату.	18.09.18	
5	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату.	25.09.18	
6	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	28.09.18	
7	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	05.10.18	
8	Розробка стартап-проекту.	08.10.18	
9	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці.	15.10.18	



10	Розробка технології виготовлення ковпачка ректифікаційної колони.	18.10.18	
11	Розробка схеми автоматизації ректифікаційної установки.	09.11.18	
12	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності дисертації діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань.	28.11.18	
13	Попередній захист дисертації.	13.12.18	
14	Корегування дисертації за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту.	17.12.18	

**Студент**

\_\_\_\_\_ С.Г. Мішуков  
(підпис)

**Науковий керівник**

\_\_\_\_\_ І.А. Андреев  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 661.7

Магістерській дисертації за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему «Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води з розробкою теплообмінника «труба в трубі» і ректифікаційної колони». НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Андреев І.А. – К., 2018. – 149 с.: іл. 31. Виконавець Мішуков С.Г. – Бібліогр.: 32 п.

Магістерська дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, переліку посилань із 32 найменувань і 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 261 с. основного тексту, 42 рисунку, 40 таблиць.

Метою роботи є модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води. Дисертація містить опис процесу ректифікації, конструкції теплообмінника, ректифікаційної колони, опис, призначення та області застосування обладнання, технічні характеристики, опис і обґрунтування вибраних конструкцій, розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкцій, рекомендації, щодо монтажу та експлуатації апаратів, а також рівень стандартизації та уніфікації, розробку стартап-проекту.

Результати роботи можуть бути використані з навчальною метою на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

ТЕПЛООБМІННИК, МЕТАНОЛ, ВОДА, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР,  
РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ТАРИЛКА.

## РЕФЕРАТ

УДК 661.7

Магистерской диссертации по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему «Модернизация процесса ректификации для разделения смеси метанола и воды с разработкой теплообменника «труба в трубе» и ректификационной колонны». НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»; Руководитель Андреев И.А. - М., 2018. - 149 с.: ил. 31. Исполнитель Мишуков С.Г. – Библиогр.: 32 п.

Магистерская диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка ссылок из 32 наименований и 6 приложений. Общий объем работы составляет 261 с. основного текста, 42 рисунка, 40 таблиц.

Целью работы является модернизация процесса ректификации для разделения смеси метанола и воды. Диссертация содержит описание процесса ректификации, конструкции теплообменника, ректификационной колонны, описание, назначение и области применения оборудования, технические характеристики, описание и обоснование выбранных конструкций, расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций, рекомендации по монтажу и эксплуатации аппаратов, а также уровень стандартизации и унификации, разработку стартап-проекта.

Результаты работы могут быть использованы в учебных целях на кафедре машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств.

ТЕПЛООБМЕННИК, МЕТАНОЛ, ВОДА, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, ТАРЕЛКА.

## ABSTRACT

UDC 661.7

The Master's thesis on the theme «Modernization of the rectification process for the methanol separation from water with the development of «pipe in pipe» heat exchanger apparatus and rectification column» National Technical University «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»; Scientific supervisor I.A. Andreyev - K., 2018. – 149 s.: il. 31. Developer S.H. Mishukov – References: 32.

The Master's consists of an introduction, eight sections, conclusions, a list of references of 32 titles and 6 applications. The total volume is 261 pages of the main text, 42 figures, 40 tables.

The aim of the work is to modernization of the rectification process for the methanol separation from water. The dissertation contains a description of the process of rectification, heat exchanger construction, the distillation column, description, purpose and application of the equipment, specifications, description and justification of the selected constructions, calculations confirming the efficiency and reliability of designs, recommendations for the installation and operation of the apparatus, and also the level of standardization and unification, the development of a startup project.

The results of the work can be used with the educational purpose at the department of machinery and apparatus of chemical and petroleum processing industries.

HEAT EXCHANGER, METHANOL, WATER, HYDRAULIC OPERATION, RECTIFICATION COLUMN, PLATE.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ**

освітнього ступеня магістр  
**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування  
**спеціалізація:** Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування  
обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші**  
**метанолу і води з розробкою теплообмінника «труба в трубі» і**  
**ректифікаційної колони**

Київ – 2018

## Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів .....	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область застосування теплообмінного апарата .....	14
1.1 Опис технологічного процесу .....	14
1.2 Вибір типу теплообмінного апарата та ректифікаційної колони та їх місце в технологічній схемі.....	15
2 Технічні характеристики апаратів.....	17
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів.....	19
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей .....	19
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами.....	21
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів.....	25
3.4 Патентний огляд конструкції апаратів.....	26
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій.....	39
4.1 Параметричний розрахунок теплообмінника .....	39
4.2 Гідравлічний розрахунок теплообмінника .....	47
4.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб .....	52
4.3.1 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби яка навантажена робочим внутрішнім тиском.....	52
4.3.2 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби яка навантажена робочим зовнішнім тиском.....	54
4.3.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для зовнішньої труби яка навантажена внутрішнім робочим тиском.....	57
4.4 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	58
4.5 Розрахунок опор на міцність .....	70
4.6 Параметричний розрахунок ректифікаційної колони .....	77
4.6.1 Конструктивний розрахунок тарілки .....	89

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Мішуков С.Г.			Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води	Літ.	Лист
Перев.		Андрєєв І.А.					10
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ, каф. МАХНВ	
Н. Контр.							
Затв.							

4.6.2 Тепловий розрахунок ректифікаційної колони .....	91
4.6.3 Теплова ізоляція ректифікаційної колони.....	93
4.7 Гідравлічний розрахунок ректифікаційної колони .....	95
4.8 Розрахунок товщини стінки обичайки .....	97
4.9 Розрахунок еліптичного днища .....	99
4.10 Розрахунок штуцерів.....	101
4.11 Перевірочний розрахунок фланцевих з'єднань .....	104
4.12 Визначення вітрового навантаження на колонний апарат .....	112
4.13 Вибір опори колонного апарата.....	117
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	119
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів .....	131
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	135
8 Розробка стартап-проекту .....	136
8.1 Опис ідеї проекту .....	136
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	140
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	142
8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	154
8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	158
8.6 Висновки .....	165
Висновки.....	167
Выводы .....	168
Conclusions.....	169
Перелік посилань .....	170
Додаток А .....	174
Додаток Б.....	197
Додаток В.....	210
Додаток Г.....	221
Додаток З.....	233
Додаток К.....	244

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

$F$  – площа теплообміну,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – висота, м;

$c$  – прибавка до розрахункової товщини, м;

$D, d$  – діаметри, м;

$N$  – потужність, Вт;

$G$  – масова витрата,  $\text{кг/с}$ ;

$P$  – тиск, Па;

$T$  – температура, К;

$V$  – об'ємна швидкість,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\rho$  – густина,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні труби,  $\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі до зовнішньої поверхні труби,  $\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$ .

$m$  – маса, кг.

Критерії:

$Nu$  – критерій Нуссельта;

$Re$  – критерій Рейнольдса;



## Вступ

Добування чистого метанолу та розділення його сумішей поступово набуває актуальності, на тлі постійного збільшення потреб у нафтопродуктах. Розробка технологічних схем та методів розділення сумішей метанолу активно ведеться промислово розвинутими країнами світу.

Метою даної магістерської дисертації є модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води. З цією метою передбачено виконання необхідних розрахунків теплообмінника «труба в трубі» для охолодження дистиляту водою та ковпачкової ректифікаційної колони для розділення метанолу та води.

Дисертація включає аналіз технологічного процесу з описом та обґрунтуванням конструкцій теплообмінника та ректифікаційної колони та їх місце в технологічній схемі, технічні характеристики апаратів установки, конструкції і принципи дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників обраних конструкцій з аналогами, вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів, патентний огляд, проведення розрахунків, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апаратів, охорону праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, рекомендації щодо їх монтажу та експлуатації, рівень стандартизації та уніфікації, розроблення стартап-проекту, розробку та опис технологічного процесу виготовлення деталі (ковпачка) та схеми автоматизації ректифікаційної установки.

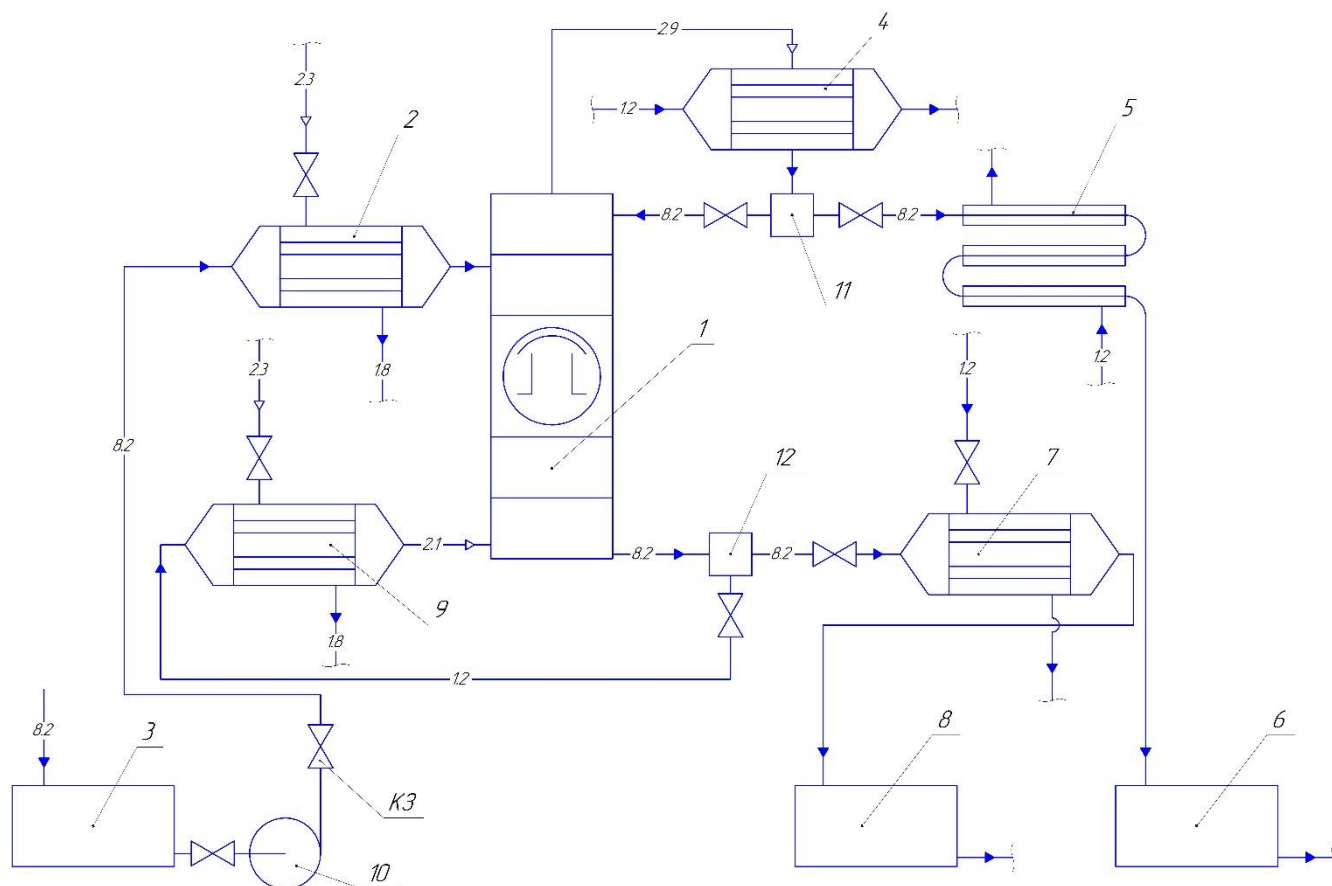
Завдання на магістерську дисертацію одержано у вересні 2018 року під час проходження переддипломної практики в НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, на кафедрі МАХНВ.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Призначення та область застосування теплообмінного апарата

## 1.1 Опис технологічного процесу

Процес розділення метанолу і води зображений на тех-схемі (рисунок 1.1), та працює наступним чином.



1 – ректифікаційна колона; 2 – нагрівач; 3 – ємність для вихідної суміші; 4 – дефлегматор; 5 – теплообмінник «труба в трубі»; 6,8 – збірники; 7 – холодильник кубового залишку; 9 – кип’ятильник; 10 – насос; 11 – розподілювач флегми; 12 – сепаратор.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу розділення метанолу і води

Суміш метанолу і води із ємності 3 переміщується насосом 10 на нагрівач 2, де нагрівається паром до процесу кипіння. Після цього нагріта суміш передається

до ректиф- колони 1, де відбувається розділення суміші на такі компоненти: висококиплячий та низькокиплячий. В нижню частину колони перетікає рідина, що включає майже повністю в себе висококиплячий компонент. Частина даної суміші – кубовий залишок, який постійно відводиться, залишок суміші випаровується за рахунок гріючої пари, що надходить з кип'ятильника 9. Частина пари, яка знаходиться у дефлегматорі 4 конденсуючись повертається у колону 1, де стікає згори донизу як флегма. Кількість пари, яка залишилась йде до теплообмінника 5 і конденсується. Отриманий дистилят охолоджується. Після всього процесу продуктами ректифікації являються кубовий залишок та дистилят, які збираються у збірниках 8 і 6, відповідно.

## 1.2 Вибір типу теплообмінного апарата та ректифікаційної колони та їх місце в технологічній схемі

Розроблюваний теплообмінник призначений для охолодження дистиляту, який подається із ректифікаційної колони. Проектуючий апарат належить до теплообмінного обладнання, зокрема до теплообмінників з трубчастими теплообмінними елементами. Він може використовуватись в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Теплообмінний процес здійснюється в протитоці при одночасному проходженні дистиляту по внутрішнім трубам і охолоджуючої води – по зовнішнім. Дистилят тече по внутрішнім трубам, зовнішні стінки яких обмиваються охолоджуючою водою, що тече по зовнішнім трубам. Так як теплообмінник має невеликий переріз труб у апаратах цього типу можна досягти більшої швидкості рідини у трубах та просторі навколо них.

Даний теплообмінник містить 24 співвісно розміщених горизонтальних труб. Внутрішні труби, які з'єднують калачі, проходять через переріз зовнішніх, які також з'єднуються одна з одним калачами.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Охолодження дистилляту здійснюється за допомогою холодної води, яка рухається по міжтрубному просторі та нагрівається на поверхні внутрішніх труб.

У промисловості використовують два типи колонних апаратів: насадкові та тарільчасті. У даній роботі колона відноситься до другого типу, яка призначена для розділення суміші метанолу та води.

Тарільчасті колони складають основну групу масообмінних апаратів. Це вертикальний циліндр, вздовж якого розташовані спеціальні контактні пристрої – тарілки, які дозволяють створити щільний контакт між паром, що піднімається вгору, та стікаючою вниз рідиною.

Процес розділення суміші протікає при атмосферному тиску.

Тарільчасті колони використовують в основному при ректифікації горючих сумішей. Маса та теплообмінні процеси між паром та рідиною відбуваються на певній відстані від низу тарілки у шарі піни. Тиск та швидкість пари, яка проходить крізь отвори сітки, задовільні для подолання тиску через шар рідини на поверхні тарілки та створенні опору її стікання через отвори.

Ректифікаційні колони найчастіше використовуються в установках для розділення сумішей. Перевагою в процесі відпарювання тарільчастих колон над насадковими є більша продуктивність.

Для розділення метанолу та води у даній ректифікаційній колоні, при заданих параметрах, найкраще підходить тарільчаста ректифікаційна колона.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технічні характеристики апаратів

Теплообмінник «труба в трубі»:

Продуктивність охолодження дистиляту , кг/с,  $G_2$  0,756;

Початкова температура охолоджуючої води , К,  $T_{1n}$  293;

Кінцева температура охолоджуючої води , К,  $T_{1к}$  317;

Початкова температура дистиляту, К,  $T_{2n}$  337;

Кінцева температура дистиляту, К,  $T_{2к}$  303;

Робочий тиск, МПа:

— в трубному просторі 0,6;

— в міжтрубному просторі 0,5;

Загальна поверхня теплообміну, м<sup>2</sup> 15,4;

Загальна кількість елементів, шт. 24;

Загальна кількість секцій, шт. 3

Довжина труб апарата, м 4,5;

Зовнішній діаметр зовнішньої труби, м 0,076;

Зовнішній діаметр внутрішньої труби, м 0,048;

Товщина стінок апарата, м 0,004;

Маса апарата, кг 1815;

Габаритні розміри:

— довжина, м 5,356;

— ширина, м 0,585;

— висота, м 3,160;

Робоче середовище:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- в трубному просторі дистиллят;
- в міжтрубному просторі вода.

Тарільчаста ректифікаційна колона:

Масова продуктивність колони за вихідною сумішшю, кг/с 2,22;

Вміст метанолу у суміші, % 35;

Вміст води у суміші, % 65;

Вміст метанолу у дистилляті, % 97;

Кубовий залишок, % 3;

Тиск у колоні, МПа 0,1;

Діаметр колони, м 1,5;

Тип ректифікаційної колони тарільчаста;

Тип масообмінної тарілки багато-ков-  
пачкова;

Загальна кількість тарілок, шт 12;

Висота колони, м 7,8;

Температура початкової суміші, К 337;

Маса колони 14876.

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції апаратів

#### 3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Теплообмінний апарат, конструктивна схема якого наведена на рисунку 3.1, призначений для охолодження дистилату. Теплообмінний апарат складається з: елементів, які утворені звареними між собою внутрішньою та зовнішньою трубою різних діаметрів, калачів, які з'єднують елементи один з одним, колекторів і патрубків для підведення та відведення теплоносіїв, опор, закріплюючих та ущільнюючих елементів.

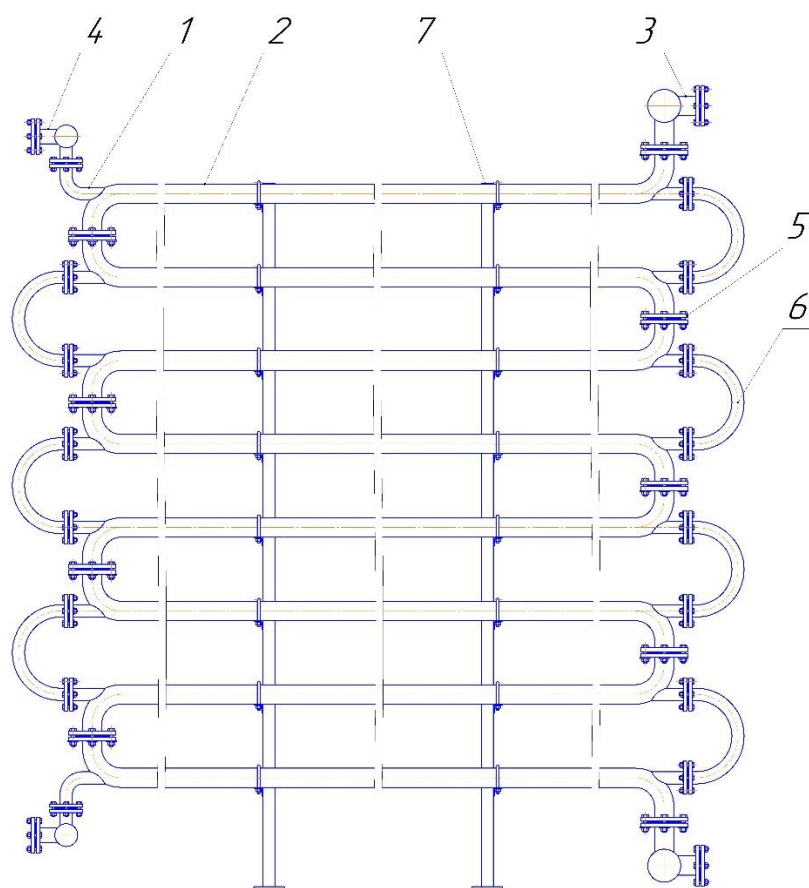


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема теплообмінника

1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3,4 – патрубки; 5 – фланці; 6 – калач; 7 – опора.

Розроблюваний теплообмінник має зігнуті на  $90^\circ$  патрубки, які розміщуються на кінцях зовнішніх труб. Внутрішні труби, які розміщуються посеред зовнішніх труб, з'єднуються одна з одною за допомогою калачів, які мають фланці. Кінець зовнішньої труби можна встановлювати в одній площині не роблячи повороту, із поворотом на  $90^\circ$  або із поворотом на  $180^\circ$ . Таке розташування дає змогу скласти теплообмінник із довільним розміщенням зовнішніх труб. Дана конструкція апарата збільшує технічні можливості теплообмінника загалом, зменшує металоємність апарата і робить його компактнішим. Нове виконання кінців зовнішніх труб забезпечує зниження гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника.

Ректифікаційна тарільчаста колона, схема якої наведена на рисунку 3.2, призначена для розділення суміші метанолу та води.

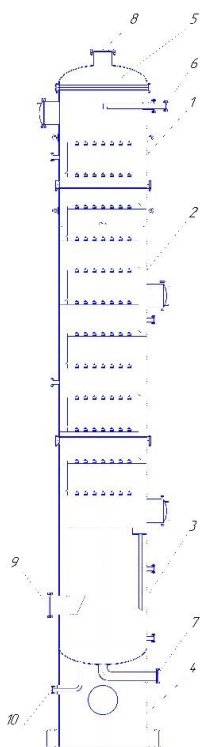


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема ректифікаційної колони

1 – секція верхня; 2 – секція основна; 3 – секція нижня; 4 – секція опорна; 5 – кришка; 6 – штуцер вводу сировини; 7 – штуцер виходу продукту з кубу; 8 – вихід парів; 9 – вхід продукту з кип'ятильника; 10 – вихід продукту у кип'ятильник.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Тарільчаста ректифікаційна колона, яка призначена для розділення суміші метанолу та води, складається з секції верхньої 1, секції основної 2, секції нижньої 3, секції опорної 4. До секції верхньої приєднана кришка 5.

Суміш метанолу та води, подається на верхню тарілку ректифікаційної колони через штуцер вводу сировини 6. Суміш стікає по тарілках донизу. Назустріч іде пара, яка регенерується у кип'ятильнику і через штуцер 9 поступає до колони. Під час взаємодії випаровується низькокиплячий компонент – метанол, який виходять з колони через штуцер виходу парів 8. А кубовий залишок, який являє собою воду, частково виводиться з куба через штуцер 7, а частково подається у кип'ятильник для подальшого обігріву колони.

Також колона містить ряд технологічних штуцерів, які призначені для заміру тиску, температури, рівня рідини тощо. Люки та лази призначені для технічного обслуговування апарату персоналом.

### **3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами**

Мета: порівняння обраних конструкцій апаратів з існуючими аналогами та обґрунтування доцільності використання обраного теплообмінника «труба в трубі» та ректифікаційної колони.

Порівняння основних показників теплообмінника типу «труба в трубі» з аналогами описані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика теплообмінників

Основні технологічні показники	Теплообмінник, що проектується	Теплообмінник «труба в трубі»	Теплообмінник «труба в трубі»
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Продовження таблиці 3.1

Продуктивність, кг/с, (бали)	0,756, (5)	0,7, (5)	0,5, (4)
Площа теплооб- міну, м <sup>2</sup> , (бали)	15,4, (4)	15, (4)	14,5, (4)
Розміри труб які використовуються, мм, (бали)	48x4, 76x4, (4)	25x3, 57x4, (3)	102x16, 159x4,5, (3)
Загальна кількість елементів, шт., (бали)	24, (4)	52, (3)	10, (4)
Кількість секцій, шт., (бали)	4, (4)	4, (4)	2, (4)
Маса апарата, кг, (бали)	1815, (4)	2023, (4)	1970, (4)
З'єднання секцій, (бали)	Паралельне, (4)	Послідовне, (4)	Паралельне, (4)
Складність конс- трукції, (бали)	Складна, (4)	Складна, (4)	Складна, (4)
Конструктивні ро- зміри, м, (бали)	L=5,356, H=3,160, B=0,585, (4)	L=5,520, H=3,030, B=0,655, (4)	L=6,120, H=3,510, B=0,640, (3)
Сума балів	37	35	34

Порівняння основних показників тарільчастої ректифікаційної колони з аналогами описані в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Типи тарілок і межі застосування

Тип тарілки	Діаметри, мм	Діапазон сталої роботи*	Область застосування	
			Тиск	Умови
Ситчаста	Від 400 до 4000	2	немає обмежень	Стабільні витрати
Ситчасто-клапанна	те саме	3-3,5	вакуум або атмосферний	Нестабільні витрати
Клапанна, ковпачкова	те саме	3,5	атмосферний або підвищений	Нестабільні витрати
Жалюзійно-клапанна	Від 1000 до 4000	4,5	атмосферний або підвищений	Нестабільні витрати
Ковпачкова	Від 400 до 4000	4,5	немає обмежень	Стабільні витрати

Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика тарілок

Показник	Тип тарілки				
	Ковпачкова з круглими ковпачками	Ковпачкова з прямокутними ковпачками	Клапанна з круглими ковпачками	Клапанна з прямокутними ковпачками	Ковпачково-ситчаста
Витрати	2	1	2	4	4

Продовження таблиці 3.3

Малі витрати за рідиною та газом	3	3	4	5	5
Діапазон сталості роботи	4	3	4	5	5
Малі втрати бризковиносу	1	1	5	3	4
Малий запас рідини	0	0	3	3	3
Мала відстань між тарілками	3	2	5	4	4
Велика ефективність	4	3	5	5	4
Велика інтенсивність	2	1	5	4	4
Робота при зміні витрат	3	2	3	5	5
Малі капітальні витрати	2	1	4	4	3
Малі витрати металу	2	2	3	4	4
Легкість монтажу	1	1	3	4	4
Легкість огляду	2	1	1	3	3
Легкість пуску та зупинки	4	4	4	4	5

Висновок: оскільки спроектовані апарати теплообмінник «труба в трубі» та ректифікаційна колона набрали найбільшу кількість балів, то вони є найоптимальнішими за свої аналоги. Додатковою перевагою теплообмінника «труба в трубі», є його конструкція, а саме виконання переходу між зовнішніми трубами за допомогою калачів, а не патрубків. Це дає змогу зменшити гідравлічний опір, в свою чергу збільшивши продуктивність теплообмінника.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Матеріалами, які використовуються для зварних апаратів хімічної промисловості являються сталі вуглецеві, конструкційні, високолеговані, чавуни а також сплави, які мають спеціальні властивості.

У ряді високолегованих нержавіючих сталей, марка 12X18H10T є однією з найбільш поширених. Завдяки унікальному набору характеристик і властивостей, цей матеріал часто використовується в таких галузях як хімічна і важка промисловість, а також в машинобудуванні. Сталь 12X18H10T відноситься до сталей аустенітного класу, що обумовлює її високий опір до утворення корозії, а також жароміцних [2].

Дана марка в своєму складі має велику кількість хрому (Cr) і нікелю (Ni). Ці елементи, що виступають в якості легуючих, повідомляють сталі 12X18H10T такі властивості, як: стійкість до корозії, міцність, а також пластичність і ударну в'язкість в широкому діапазоні температур. Це означає, що вироби з вказаною сталі, мають можливість виконувати покладені на них функції без втрат тих чи інших властивостей навіть в умовах підвищених температур. Для сталі 12X18H10T верхня межа робочої температури складає 600 градусів Цельсія [2].

Також до складу сталі 12X18H10T входить титан, що, в свою чергу, також сприяє підвищенню міцності, стійкості до впливу високих температур, а також оброблюваності.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Широкий діапазон робочої температури дозволяє прокату сталі 12X18H10T, або AISI 321, бути використаним там, де температура досягає високих меж, це, наприклад, деталі працюють в контактi з кислотними, сольовими, лужними, токсичними та їдкими корозійними середовищами. Варто також відзначити, що сталь 12X18H10T не має будь-яких обмежень по зварюванню. Що також сприяє її поширенню і популяризації.

### 3.4 Патентний огляд конструкції апаратів

Мета: зробити патентний пошук апаратів, які за принципом дії найбільш схожі з розроблюваними апаратами.

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук. В результаті відібрані для детального розгляду ряд конструкцій, описи яких наведено нижче. Результати пошуку наведені у додатку В.

Теплообмінник є предметом даного пошуку, а саме типу «труба в трубі» та ректифікаційна колона. Для докладного аналізу було обрано патенти [Додаток 3].

У патенті [14] представлений теплообмінник «труба в трубі», складальні одиниці якого: зовнішня труба та внутрішня труба (рисунок 3.3).

Теплообмінник включає в себе: зовнішня труба 1, у якій розміщується внутрішня труба 2, що зміщується у бік твірної у зовнішній трубі із поздовжніми ребрами 3. Ребра змінюють свою висоту, так що, мінімальна їхня висота перебуває з того боку, де розташована твірна, у бік якої зміщується внутрішня труба, а максимальна висота ребер знаходиться у протилежному боці. Зовнішня труба 1 має патрубок 4, через який подається теплоносій та патрубок 5, через який відводиться охолоджуючий теплоносій.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Новизна даного теплообмінника являє собою виконання внутрішньої труби зі зміщенням стосовно зовнішньої.

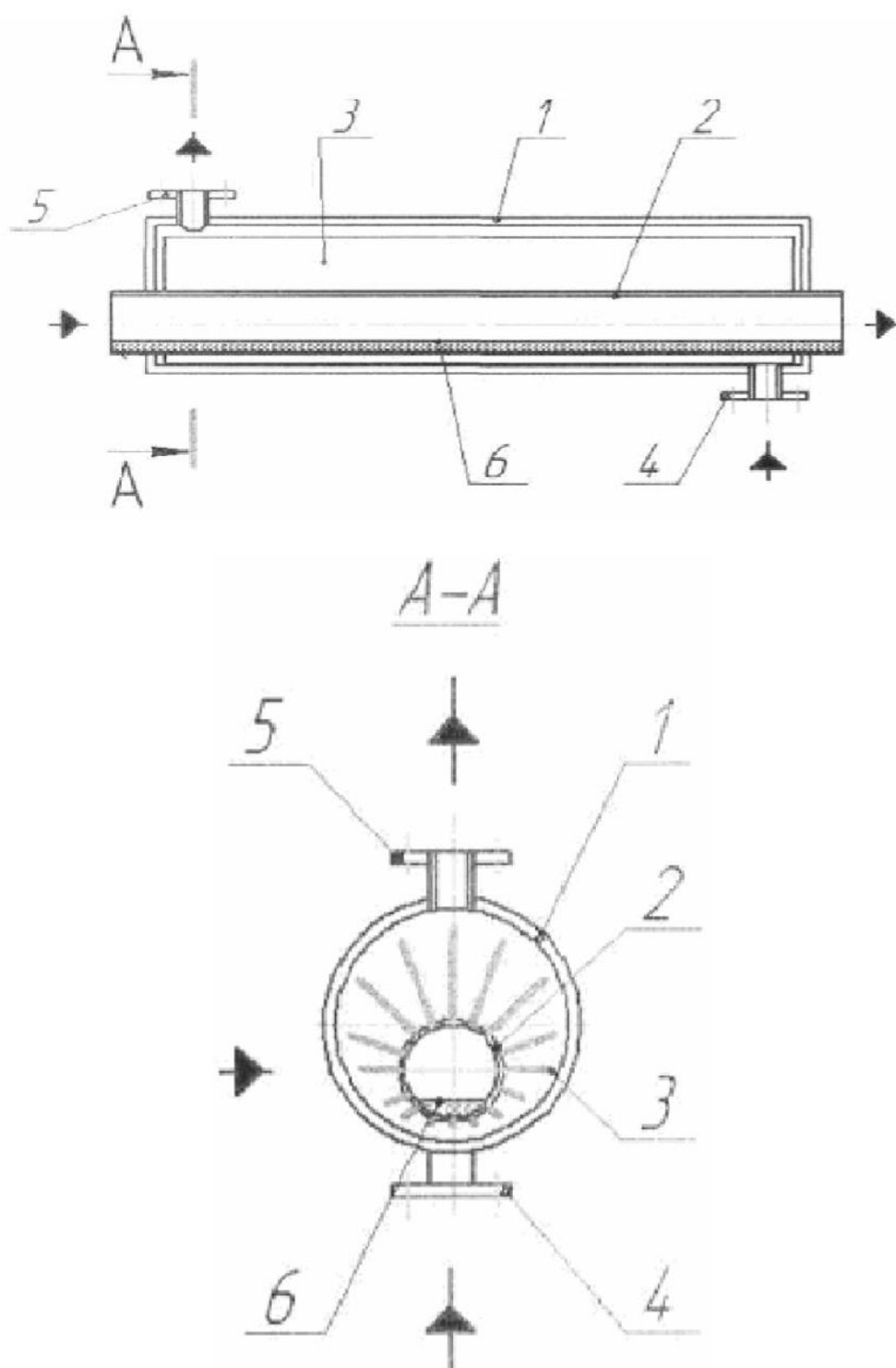


Рисунок 3.3 – Теплообмінник «труба в трубі»

1 – зовнішня труба; 2 – внутрішня труба; 3 – поздовжні ребра; 4,5 – патрубки; 6 – конденсат.

Переваги:

- низький гідравлічний опір у міжтрубному просторі;
- підвищена продуктивність.

Недоліки:

- низька інтенсивність теплообміну.

У патенті [15] представлений теплообмінник «труба в трубі», складальні одиниці якого: зовнішні труби та внутрішні труби (рисунок 3.4).

Новизна даного теплообмінника являє собою виконання внутрішніх труб із западинами, герметично з'єднаних із витискувачем.

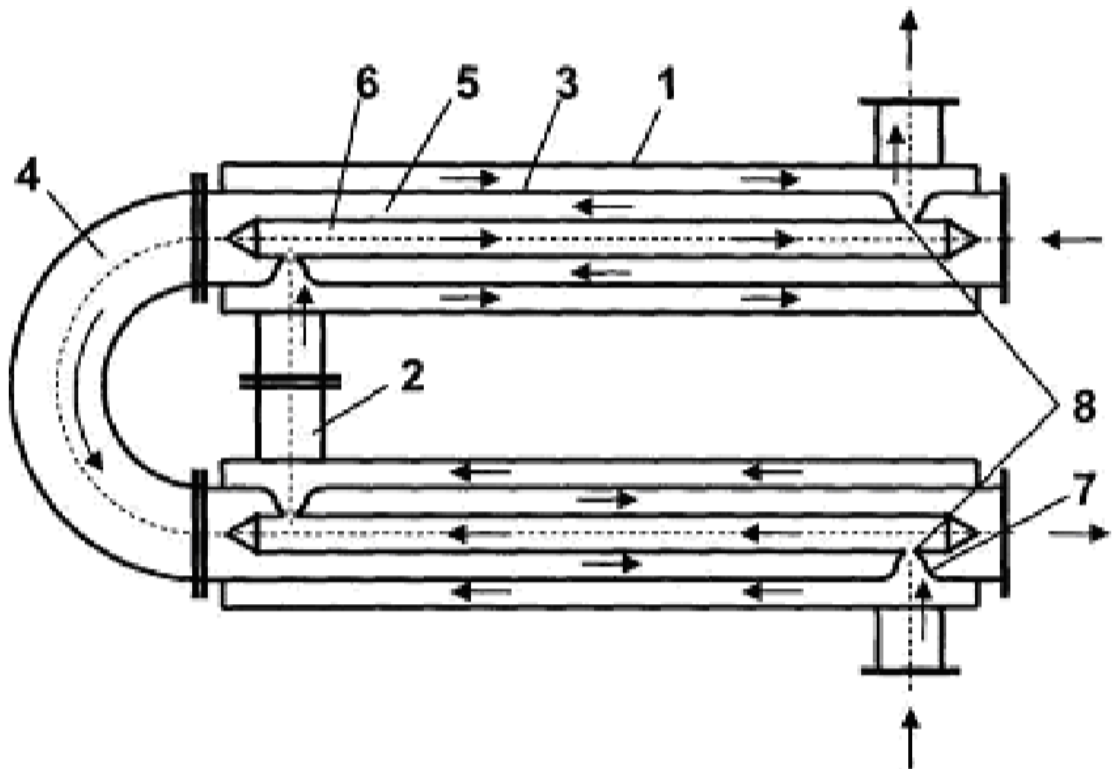


Рисунок 3.4 – Теплообмінник «труба в трубі»

1 – зовнішня труба; 2 – радіальна труба; 3 – внутрішня труба; 4 – U-подібне коліно; 5 – кільцевий проміжок; 6 – порожнистий витискувач; 7 – западини; 8 – наскрізний отвір.

Переваги:

- підвищена ефективність теплопередачі.



Недоліки:

- невеликий коефіцієнт тепловіддачі всередині внутрішніх теплообмінних труб.

У патенті [16] представлений теплообмінник «труба в трубі», складальні одиниці якого: зовнішні труби, внутрішні труби та ребра між ними (рисунок 3.5).

Новизна даного теплообмінника являє собою оребрення на внутрішній трубі.

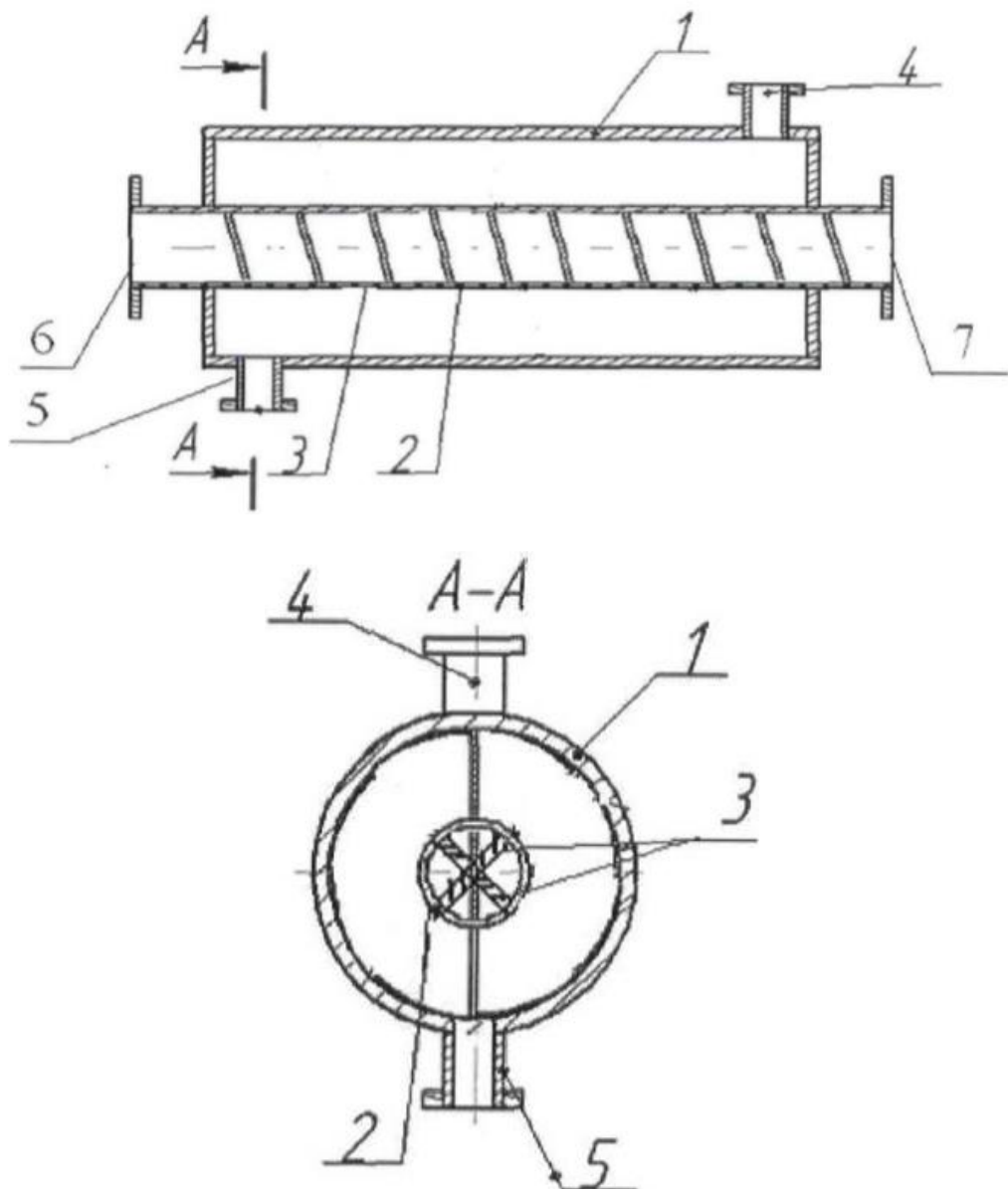


Рисунок 3.5 – Теплообмінник «труба в трубі»

1 – зовнішня труба; 2 – внутрішня труба; 3 – оребрення; 4,5,6,7 – штуцери.

Переваги:

- більша площа теплоносія в міжтрубному просторі при меншій площі теплообміну;
- малі габаритні розміри.

Недоліки:

- низький коефіцієнт теплопередачі;
- високий гідравлічний опір.

У патенті [17] представлений теплообмінник «труба в трубі», складальні одиниці якого: зовнішні труби та внутрішні труби (рисунок 3.6).

Між внутрішньою трубою 1 і зовнішньою трубою 2 множина виступів 3 розташовується по зигзагоподібному способу, таким чином, щоб оточувати внутрішню трубу 1. За допомогою цієї структури вода не може рухатись прямо в поздовжньому напрямку труби, полегшуючи турбулентний потік води, а теплопередача від холодоагенту, що протікає через прохід 4, до води, що протікає через водовідвідний прохід 5.

Новизна даного теплообмінника являє собою виконання зовнішньої труби теплообмінника із вигинами на поверхні труби.

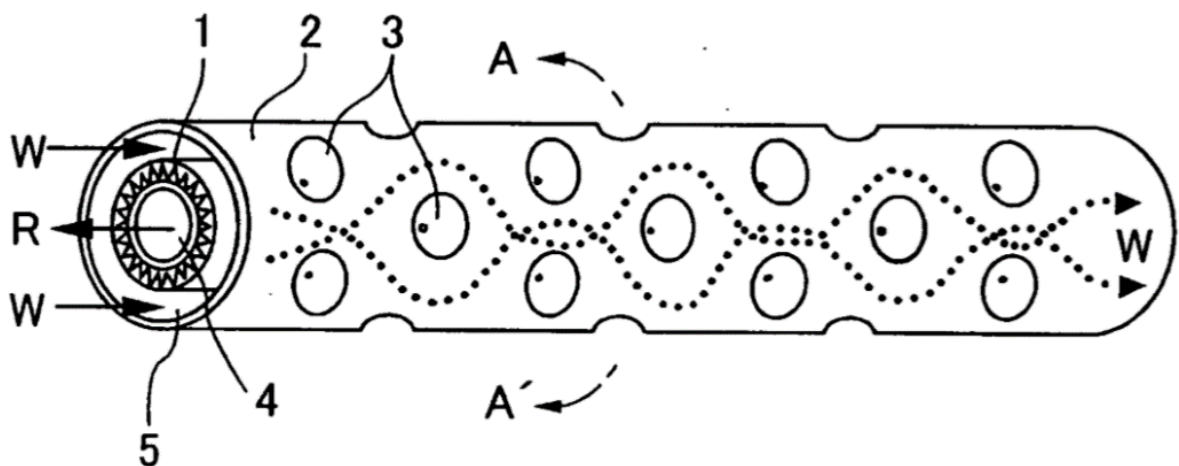


Рисунок 3.6 – Теплообмінник «труба в трубі»

1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3 – виступи; 4,5 – проходи.

Переваги:

- зменшена матеріалоемність;
- підвищена теплопередача.

Недоліки:

- наявність турбулентного потоку за рахунок кривизни руху холодоагенту.

У патенті [18] представлений теплообмінник «труба в трубі», складальні одиниці якого: зовнішня труба та внутрішньої труба (рисунок 3.7).

Теплообмінник (31) включає в себе зовнішню трубу (32), через яку протікає рідкий холодоагент високого тиску, і внутрішню трубу (33), яка має боковий край (33А) вхідного отвору, фазове охолодження, одержане шляхом зниження тиску потоку, високого тиску рідкого холодоагенту та кінцевого виходу (33В), з'єднаного з стороною всмоктування компресора. Трубопровідний теплообмінник (31) містить декілька вертикальних труб (34А, 34В), розташованих у напрямку вгору і вниз, і криволінійну трубу (35), яка з'єднує кінці з множини вертикальних труб (34А, 34В), випускний боковий край (33В) внутрішньої труби (33) розташований у верхньому кінці однієї вертикальної труби (34В), а кінцевий (33А) вхідної частини внутрішньої труби (33) забезпечується у верхньому кінці іншої вертикальної труби (34А).

Новизна даного теплообмінника являє собою виконання труб теплообмінника з U-подібною формою.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

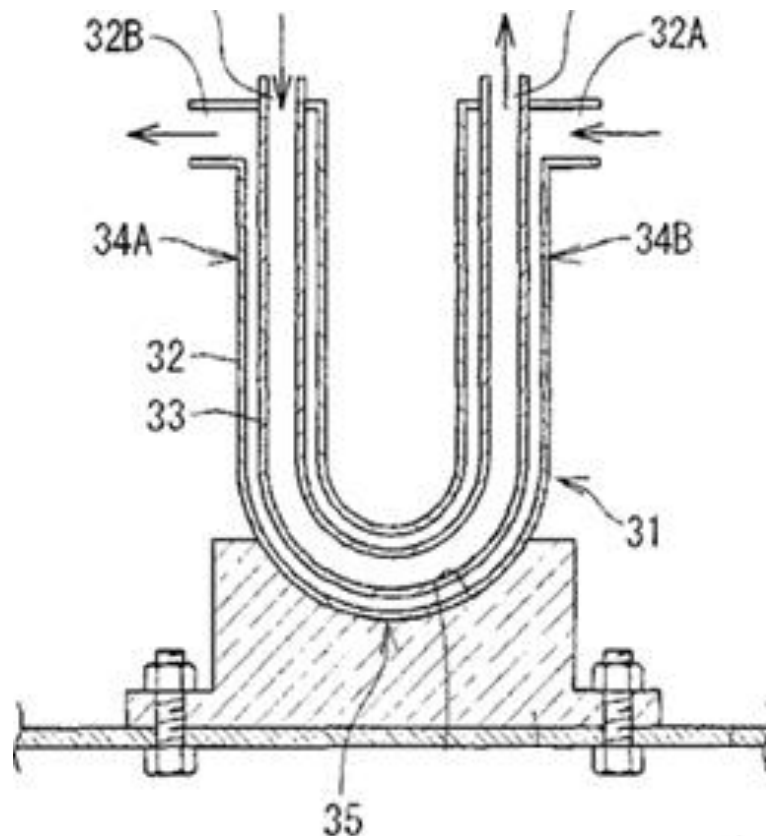


Рисунок 3.7 – Теплообмінник «труба в трубі»

32 – зовнішня труба; 33 – внутрішня труба; 33А – вхідний отвір; 33В – кінцевий вихід; 34А,34В – вертикальні труби; 35 – криволінійна труба.

Переваги:

- можливість контролювати швидкості рідин.

Недоліки:

- великі габарити та складність монтажу.

У патенті [19] представлена ректифікаційна колона, складальні одиниці якої корпус та масообмінні тарілки (рисунок 3.8).

Новизна даної ректифікаційної колони являє собою можливість регулювання відстані між тарілками.

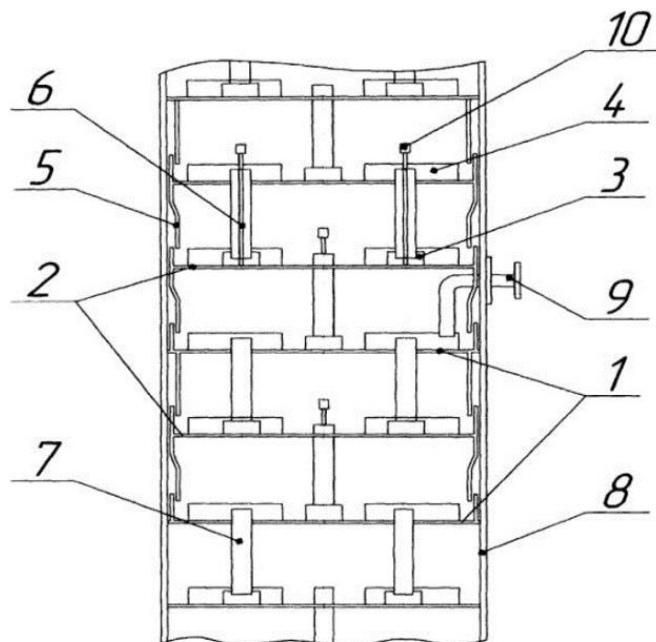


Рисунок 3.8 – Ректифікаційна колона

1,2 – масообмінні тарілки; 3 – приймальний пристрій; 4 – напрямні перегородки; 5 – обичайки; 6 – опорні регулювальні стержні; 7 – переливний пристрій; 8 – корпус; 9 – штуцер; 10 – маховик.

Переваги:

- регулювання масообмінного процесу.

Недоліки:

- складність конструкції.

У патенті [20] представлена ректифікаційна колона, складальні одиниці якої корпус та масообмінні тарілки (рисунок 3.9).

Новизна даної ректифікаційної колони являє собою встановлення ковпачків різної конфігурації.

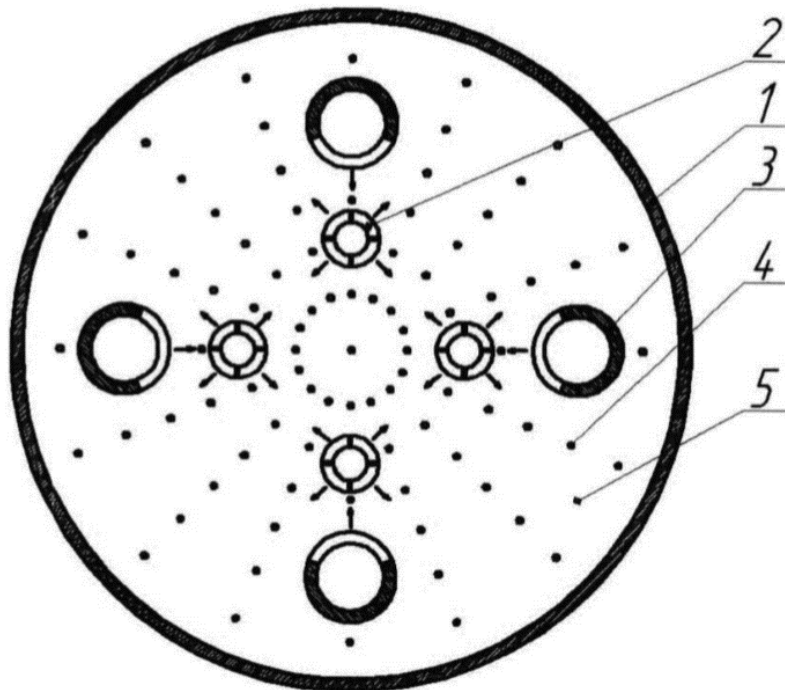


Рисунок 3.9 – Ректифікаційна колона

1 – корпус; 2 – центральні ковпачки; 3 – периферійні ковпачки; 4 – отвори; 5 – масообмінна тарілка.

Переваги:

- підвищена інтенсифікація процесу масообміну;
- рівномірний розподіл рідини по об'єму тарілки;
- зменшений пристінний ефект.

Недоліки:

- недостатньо ефективне конструктивне рішення по розподіленню рідкої фази.

У патенті [21] представлена ректифікаційна колона, складальні одиниці якої: корпус та масообмінні тарілки (рисунок 3.10).

Новизна даної колони являє собою можливість регулювати рівень рідини за допомогою переливного пристрою.

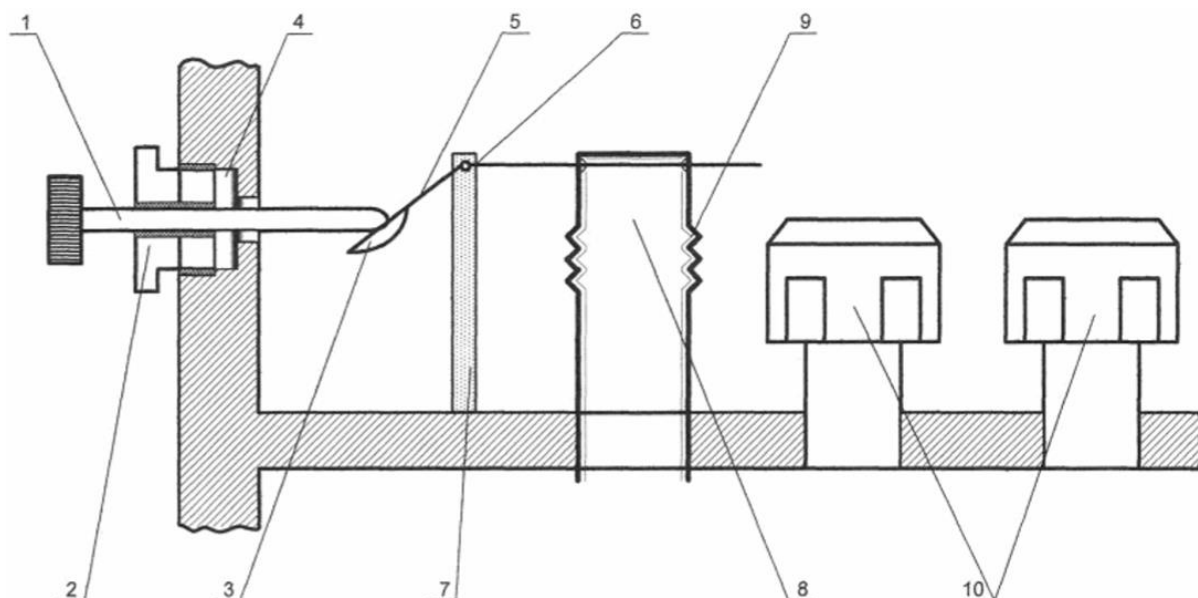


Рисунок 3.10 – Переливний пристрій колони

1 – гвинт; 2 – гайка; 3 – вигнута пластина; 4 – гумова втулка; 5 – сполучний елемент; 6 – вісь; 7 – опора; 8 – переливний патрубок; 9 – сільфон; 10 – тарілка.

#### Переваги:

- можливість регулювання необхідного рівня на тарілках;
- високе ККД тарілки;
- компактність.

#### Недоліки:

- мала продуктивність за рахунок підвищеного віднесення рідини.

У патенті [22] представлена ректифікаційна колона, складальні одиниці якої: секція, випарник та впускний отвір.

Ректифікаційна колона включає в себе основну секцію (204) та розділювач рафінату (205) вище згаданої основної секції, випарник (208), розташований на нижньому торці колони, впускний отвір (214) розташована між основною секцією колонки і секцією рафінату та впускний отвір розчинника (215), розташований на верхній частині секції рафінату (205) для подачі екстрагенту. Згідно з винаходом, основна секція (204) має дві камери (216, 217), з'єднані паралельно. Відокремлювана секція (222) розташована між дном колонки (221) та основною секцією (204), в якій

концентрація екстрагента відбувається згори донизу. Дно (221) з'єднане з припливом розчинника (215) пристроєм (223) для переробки екстрагента (рисунок 3.11).

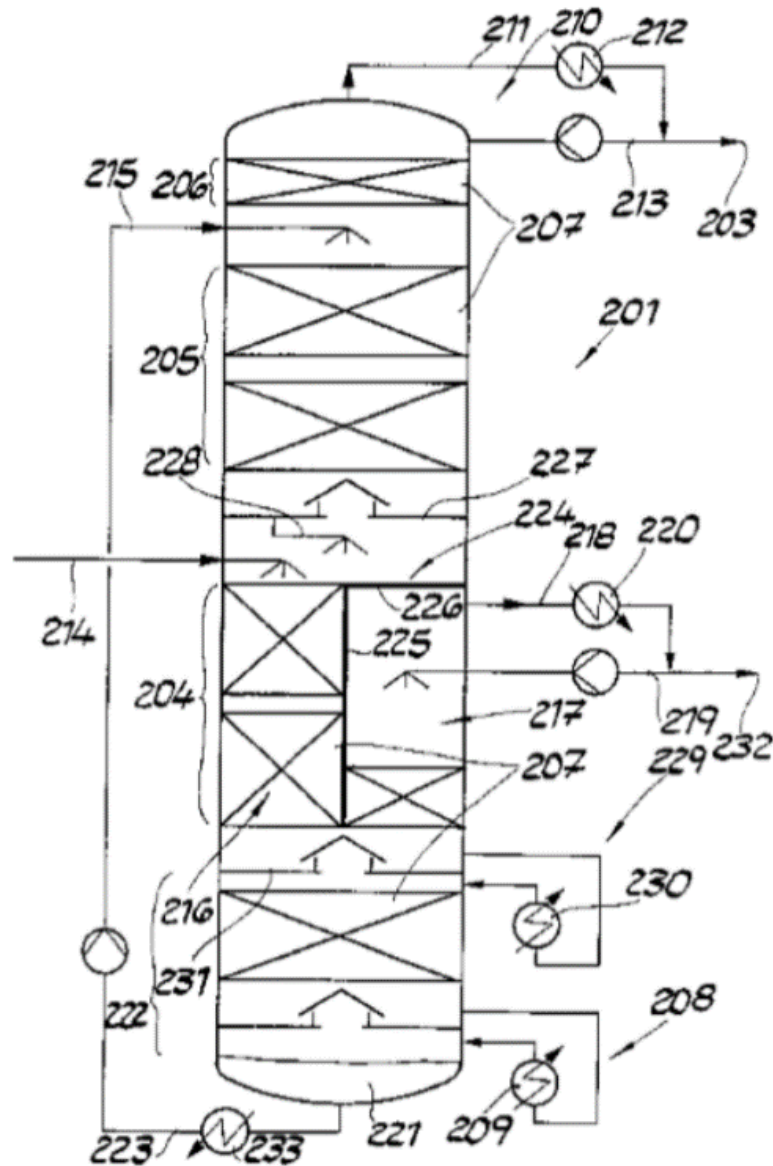


Рисунок 3.11 – Ректифікаційна колона

204 – основна секція; 205 – розподілювач; 208 – випарник; 214,215 – впускний отвір; 216,217 – камери; 221 – дно; 222 – відокремлювана секція.

Переваги:

- підвищена інтенсифікація процесу масообміну.

Недоліки:

- складність конструкції.



У патенті [23] представлена ректифікаційна колона, яка складається із: 1 - вхід для охолоджувального середовища, 2 - конденсатор, 3 - розетка для охолоджувального середовища, 4 - дистилят, 5 – рефлюкс, 6 – каналний розподільник рідини з 500 крапельними крапками 7, пакувальні елементи висотою від 20 до 100 мм 8, упаковка, елементи висотою близько 170 мм 9, поєднання ізоляції та захисного нагріву 10, впускних отворів для сирого колектора рідини VEA 11,12, бічний розряд 13, розлив для герметизуючого елемента 15, для нагрівального середовища (виходу) 14, впускний отвір для падіння плівкового випарника 16, для нагрівального середовища (вхід) 17 нижній розрядний, 18 – фланців, 19 – ущільнювачів (рисунок 3.12).

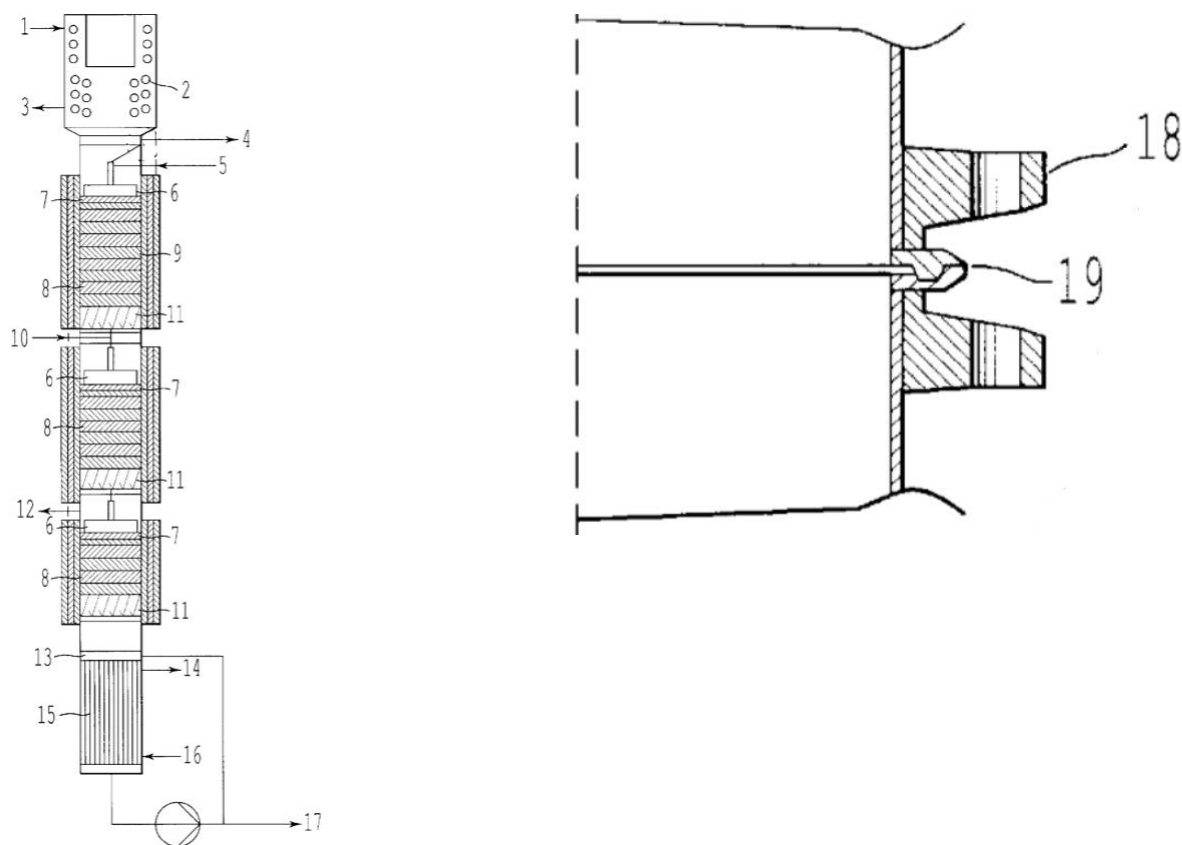


Рисунок 3.12 – Ректифікаційна колона

1,17 – вхід; 2 – конденсатор; 3 – розетка; 4 – дистилят; 5 – рефлюкс; 6 – каналний розподільник; 7 – крапки; 8,9 – пакувальні елементи; 10 – ізоляція; 11,12 – випускні отвори; 13 – бічний розряд; 14 – вихід; 15 – герметизуючий клкмент; 16 – впускний отвір; 18 – фланець; 19 – ущільнювач.

Переваги:

- підвищена інтенсифікація процесу масообміну.

Недоліки:

- складність конструкції.

Висновок: у результаті пошуку серед розглянутих патентів аналогічних конструкцій не знайдено. Регламент патентного пошуку представлено у Додатку В.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

### 4.1 Параметричний розрахунок теплообмінника

Головною метою розрахунку є визначення поверхні теплообміну та основних розмірів теплообмінника.

Розрахункова схема теплообмінника представлена на рисунку 4.1.

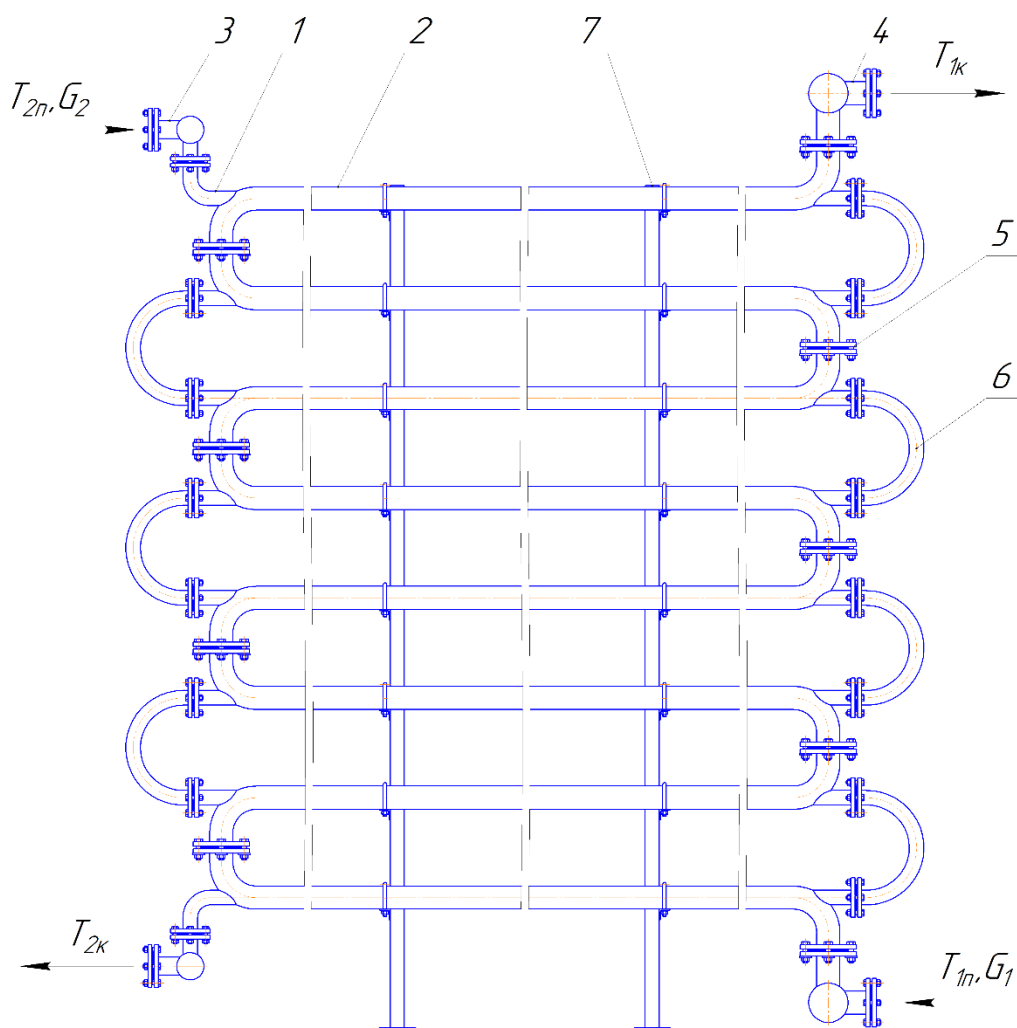


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема теплообмінника

1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3,4 – патрубки; 5 – фланці; 6 – калачі; 7 – опора.

Вихідні данні:

Продуктивність охолодження дистиляту, кг/с, $G_2$	0,756;
початкова температура дистиляту, К, $T_{2n}$	337;
кінцева температура дистиляту, К, $T_{2к}$	303;
початкова температура охолоджуючої води, К, $T_{1n}$	293;
кінцева температура охолоджуючої води, К, $T_{1к}$	317.

Параметричний розрахунок теплообмінника «труба в трубі» здійснено за методикою, наведеною у [1].

Визначимо витрату теплоти і витрату води. Приймаємо індекс "1" для холодного теплоносія (води), індекс "2" – для гарячого теплоносія (дистиляту).

Схема температурного режиму представлена на рисунку 4.2.

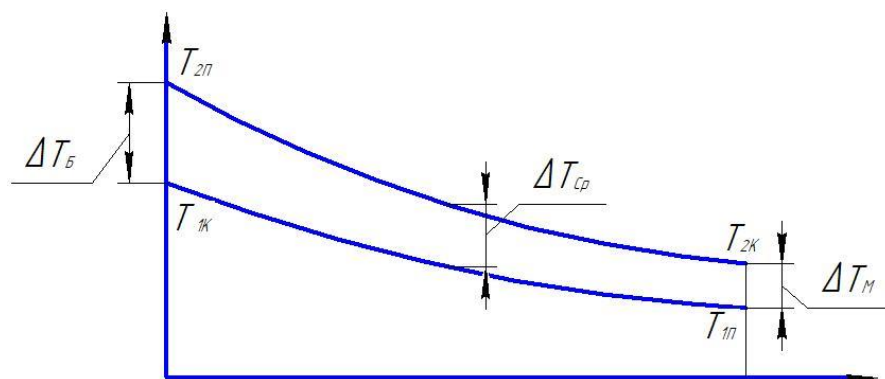


Рисунок 4.2 – Схема температурного режиму

Менша різниця температур на кінцях теплообмінника:

$$\Delta T_M = T_{2к} - T_{1н} = 303 - 293 = 10 \text{ К.}$$

Більша різниця температур на кінцях теплообмінника:

$$\Delta T_B = T_{2н} - T_{1к} = 337 - 317 = 20 \text{ К.}$$

Оскільки відношення  $\frac{\Delta T_B}{\Delta T_M} = \frac{20}{10} = 2 \leq 2$ , то визначаємо середню арифметичну

різницю температур:

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$\Delta T_{cp} = \frac{20+10}{2} = 15 \text{ К.}$$

Середня температура охолоджуючої води:

$$T_1 = \frac{T_{1n} + T_{1к}}{2} = \frac{293 + 317}{2} = 305 \text{ К.}$$

Тоді середня температура дистилляту дорівнює:

$$T_2 = T_1 - \Delta T_{cp} = 305 + 15 = 320 \text{ К.}$$

Визначаємо витрати теплоти з урахуванням витрат у навколишнє середовище у розмірі 5%:

$$Q = 1,05 G_2 c_2 (T_{2n} - T_{2к}) = 1,05 \cdot 0,756 \cdot 2280 \cdot (337 - 303) = 61535 \text{ Вт.}$$

Витрати води:

$$G_1 = \frac{Q}{c_1 (T_{1к} - T_{1n})} = \frac{61535}{4193 \cdot (317 - 293)} = 0,612 \text{ кг/с.}$$

де  $c_1=4193 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  та  $c_2=2280 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  – питомі теплоємності води та дистилляту при їх середніх температурах  $T_1=305 \text{ К}$  та  $T_2=320 \text{ К}$  відповідно [1].

Об'ємні витрати води та дистилляту:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{0,612}{995} = 6,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{0,756}{920} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

де  $\rho_1=995 \text{ кг/м}^3$  та  $\rho_2=920 \text{ кг/м}^3$  – густина води та дистилляту відповідно [1].

Визначаємо орієнтовне значення поверхні теплообміну, вважаючи, що  $K_{op}=1000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , при теплообміні від рідини до рідини (вода):

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \Delta T_{cp}} = \frac{61535}{1000 \cdot 15} = 4,1 \text{ м}^2.$$

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Виходячи з попередньо обчисленої площі теплообміну вибираємо труби для теплообмінника  $48 \times 4$  мм (внутрішня труба –  $d_2$ ),  $76 \times 4$  мм (зовнішня труба –  $D_1$ ).

Швидкість дистилляту в трубах для забезпечення турбулентного режиму:

$$\omega_2' = \frac{Re_2 \mu_2}{d_2 \rho_2} = \frac{10000 \cdot 0,68 \cdot 10^{-3}}{0,04 \cdot 920} = 0,19 \text{ м/с},$$

де  $\mu_2 = 0,68 \cdot 10^{-3}$  Па·с – в'язкість дистилляту при  $T_2 = 320$  К [1].

Число труб  $48 \times 4$  мм, які працюють паралельно, при цьому:

$$n' = \frac{V_2}{0,785 d_2^2 \omega_2'} = \frac{8,2 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,04^2 \cdot 0,19} = 3,44.$$

Прийmemo  $n = 3$ . Визначаємо швидкість та Критерій Рейнольдса.

Для дистилляту:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{0,785 d_2^2 n} = \frac{8,2 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,04^2 \cdot 3} = 0,22 \text{ м/с}.$$

$$Re_2 = \frac{\omega_2 d_2 \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,22 \cdot 0,04 \cdot 920}{0,68 \cdot 10^{-3}} = 11906.$$

Для води:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1} = \frac{V_1}{0,785 (D_1^2 - d_2^2) n} = \frac{6,2 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot (0,068^2 - 0,048^2) \cdot 3} = 0,12 \text{ м/с}.$$

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_e \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,12 \cdot 0,02 \cdot 995}{0,768 \cdot 10^{-3}} = 3109,$$

де еквівалентний діаметр  $d_e = D_1 - d_2 = 0,068 - 0,048 = 0,02$  м,

$\mu_1 = 0,768 \cdot 10^{-3}$  Па·с – в'язкість води при  $T_1 = 305$  К [13].

Теплопередача для дистилляту:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$Nu'_2 = 0,021 \varepsilon_l Re_2^{0,8} Pr_2^{0,43} \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm,2}} \right)^{0,25}.$$

Коефіцієнт  $\varepsilon_l$  приймаємо рівним 1, вважаючи, що  $\frac{L}{d_e} > 50$  за таблицею 4.3.

Приймаємо поправку Михеєва  $\left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm,2}} \right)^{0,25}$  для дистилляту, рівною 1 [1].

Критерій Прандтля для дистилляту при 320 К:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{2280 \cdot 0,68 \cdot 10^{-3}}{0,337} = 4,6,$$

де  $\lambda_2 = 0,337$  Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності дистилляту [1].

Критерій Нуссельта для дистилляту:

$$Nu'_2 = 0,021 \varepsilon_l Re_2^{0,8} Pr_2^{0,43} \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 1 \cdot 11906^{0,8} \cdot 4,6^{0,43} \cdot 1 = 73,76.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від дистилляту до стінки:

$$\alpha'_2 = \frac{Nu'_2 \lambda_2}{d_2} = \frac{73,76 \cdot 0,337}{0,04} = 621,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Так як визначена швидкість води не забезпечує турбулентний режим, робимо внутрішню трубу з поперечними ребрами.

При значеннях  $Re=3000 - 25000$  та  $3 < (d_2/t) < 4,8$  теплопередача для води описується рівнянням:

$$Nu'_1 = C(d_2 / t)^{-0,54} (h / t)^{-0,14} Re_1^n Pr_1^{0,4},$$

де  $C=0,116$ ;  $n=0,72$ ;  $t = d_2/4 = 0,04/4 = 0,01$  м – крок ребер;  $h = (D_1 - d_2)/2 = (0,068 - 0,048)/2 = 0,01$  м – висота ребра.

Критерій Прандтля для води при 305 К:

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Pr_1 = \frac{c_1 \mu_1}{\lambda_1} = \frac{4193 \cdot 0,768 \cdot 10^{-3}}{0,625} = 5,15,$$

де  $\lambda_1 = 0,625$  Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності для води [1].

Критерій Нуссельта:

$$Nu_1' = C(d_2 / t)^{-0,54} (h / t)^{-0,14} Re_1^n Pr_1^{0,4} = 0,116 \cdot 4^{-0,54} \cdot \left( \frac{0,01}{0,01} \right)^{-0,14} \cdot 3109^{0,72} \cdot 5,15^{0,4} = 34,58$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до води:

$$\alpha_1' = \frac{Nu_1' \cdot \lambda_1}{d_e} = \frac{34,58 \cdot 0,625}{0,02} = 1080,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Термічний опір стінки і забруднень:

$$\sum r_{cm} = r_{забр.1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{забр.2} = \frac{1}{2900} + \frac{0,004}{15,43} + \frac{1}{2900} = 9,489 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт},$$

де  $\lambda_{cm} = 15,43$  Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності сталі 12Х18Н10Т.

Площа внутрішньої поверхні оребрених труб на одиницю довжини:

$$F_{вн} = \pi d_2 \cdot 1 = \pi d_2 = 3,14 \cdot 0,04 = 0,126 \text{ м}^2;$$

Площа ребер:

$$F_p = \frac{\pi \left[ 0,5(D_p^2 - d_2^2) + D_p \delta \right]}{t} = \frac{3,14 \cdot \left[ 0,5 \cdot (0,058^2 - 0,048^2) + 0,058 \cdot 0,002 \right]}{0,01} = 0,203 \text{ м}^2,$$

де  $D_p = 0,058$  м – діаметр ребра;  $\delta = 0,002$  м – товщина ребра.

Площа міжреберних ділянок:

$$F_{mp} = \frac{\pi d_2 (t - \delta)}{t} = \frac{3,14 \cdot 0,048 \cdot (0,01 - 0,002)}{0,01} = 0,121 \text{ м}^2.$$

Повна площа оребреної поверхні:

$$F_{op} = F_p + F_{mp} = 0,203 + 0,121 = 0,324 \text{ м}^2.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Коефіцієнт теплопередачі:

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{1}{\alpha_2'} + \sum r_{cm}} = \frac{1}{\frac{1}{1080,6} + \frac{1}{621,4} + 9,489 \cdot 10^{-4}} = 287,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Поверхнева густина теплового потоку:

$$q' = K' \cdot \Delta T_{cp} = 287,1 \cdot 15 = 4306,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Визначаємо орієнтовне значення  $T'_{cm.1}$  та  $T'_{cm.2}$  виходячи з того, що:

$$q' = K' \cdot \Delta T_{cp} = \alpha_1' \cdot \Delta T_1' = \frac{1}{\sum r_{cm}} \cdot \Delta T_2' = \alpha_2' \cdot \Delta T_2',$$

де сума:

$$\Delta T_1' + \Delta T_{cm}' + \Delta T_2' = \Delta T_{cp}.$$

Знайдемо:

$$\Delta T_1' = \frac{q'}{\alpha_1'} = \frac{4306,5}{1080,6} = 3,985 \text{ К};$$

$$\Delta T_{cm}' = q' \cdot \sum r_{cm} = 4306,5 \cdot 9,489 \cdot 10^{-4} = 4,086 \text{ К};$$

$$\Delta T_2' = \frac{q'}{\alpha_2'} = \frac{4306,5}{621,4} = 6,93 \text{ К}.$$

Перевірка: сума  $\Delta T_1'$ ,  $\Delta T_2'$  та  $\Delta T_{cm}'$  дорівнює  $\Delta T_{cp}$ :

$$3,985 + 4,086 + 6,93 = 15 \text{ К}.$$

Звідки:

$$T'_{cm.1} = T_1 - \Delta T_1' = 305 - 3,985 = 301,015 \approx 301 \text{ К};$$

$$T'_{cm.2} = T_2 + \Delta T_2' = 320 + 6,93 = 326,93 \approx 327 \text{ К}.$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Вводимо поправку у коефіцієнт тепловіддачі, визначивши  $\left(\frac{Pr}{Pr_{cm}}\right)^{0,25}$ .

Критерій Прандтля для дистилляту при  $T_{cm,2}=327$  К:

$$Pr_{cm,2} = \frac{c_{cm,2} \cdot \mu_{cm,2}}{\lambda_{cm,2}} = \frac{2290 \cdot 0,57 \cdot 10^{-3}}{0,342} = 3,817.$$

Критерій Прандтля для води при  $T_{cm,1}=301$  К:

$$Pr_{cm,1} = \frac{c_{cm,1} \cdot \mu_{cm,1}}{\lambda_{cm,1}} = \frac{4190 \cdot 0,771 \cdot 10^{-3}}{0,621} = 5,202.$$

Коефіцієнт тепловіддачі для дистилляту:

$$\alpha_2 = \alpha_2' \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_{cm,2}}\right)^{0,25} = 621,4 \cdot \left(\frac{4,6}{3,817}\right)^{0,25} = 651,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

Коефіцієнт тепловіддачі для води:

$$\alpha_1 = \alpha_1' \cdot \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cm,1}}\right)^{0,25} = 1080,6 \cdot \left(\frac{5,15}{5,202}\right)^{0,25} = 1077,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Перераховуємо значення  $K$ ,  $q$ ,  $T_{cm,1}$ ,  $T_{cm,2}$ :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum r_{cm}} = \frac{1}{\frac{1}{1077,9} + \frac{1}{651,1} + 9,489 \cdot 10^{-4}} = 293 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$q = K \cdot \Delta T_{cp} = 293 \cdot 15 = 4395 \text{ Вт/м}^2;$$

$$T_{cm,1} = T_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 305 - \frac{4395}{1077,9} = 300,92 \text{ К};$$

$$T_{cm,2} = T_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 320 + \frac{4395}{651,1} = 326,75 \text{ К}.$$

$$A_1 = \frac{\alpha_1 - \alpha_1'}{\alpha_1} \cdot 100\% = \frac{1077,9 - 1080,6}{1077,9} \cdot 100\% = 0,25$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$A_2 = \frac{\alpha_2 - \alpha_2'}{\alpha_2} \cdot 100\% = \frac{651,1 - 621,4}{651,1} \cdot 100\% = 4,56$$

Подальші уточнення  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  непотрібні, через те що розбіжності між  $\alpha_1$ ,  $\alpha_1'$  та  $\alpha_2$ ,  $\alpha_2'$  не перевищує 5%.

Розрахункова площа поверхні теплопередачі:

$$F_p' = \frac{Q}{q} = \frac{61535}{4395} = 14 \text{ м}^2.$$

З запасом 10%  $F_p = 15,4 \text{ м}^2$ .

Площа поверхні теплообміну одного елемента довжиною 4,5 м:

$$F_1 = \pi \cdot d_{cp} \cdot L = 3,14 \cdot 0,044 \cdot 4,5 = 0,622 \text{ м}^2.$$

Число елементів в кожній із трьох секцій:

$$N = \frac{F_p}{n \cdot F_1} = \frac{15,4}{3 \cdot 0,622} = 8,25 \approx 8 \text{ шт.}$$

Висновки: зробивши параметричний розрахунок, було визначено загальну площу теплообміну, що складає  $15,4 \text{ м}^2$ , та загальну кількість секцій  $n = 3 \text{ шт.}$

## 4.2 Гідравлічний розрахунок теплообмінника

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в міжтрубному і трубному просторі теплообмінника, а також визначення затрат потужності на переміщення теплоносіїв.

Розрахункова схема визначення гідравлічних опорів зображена на рисунку 4.3.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

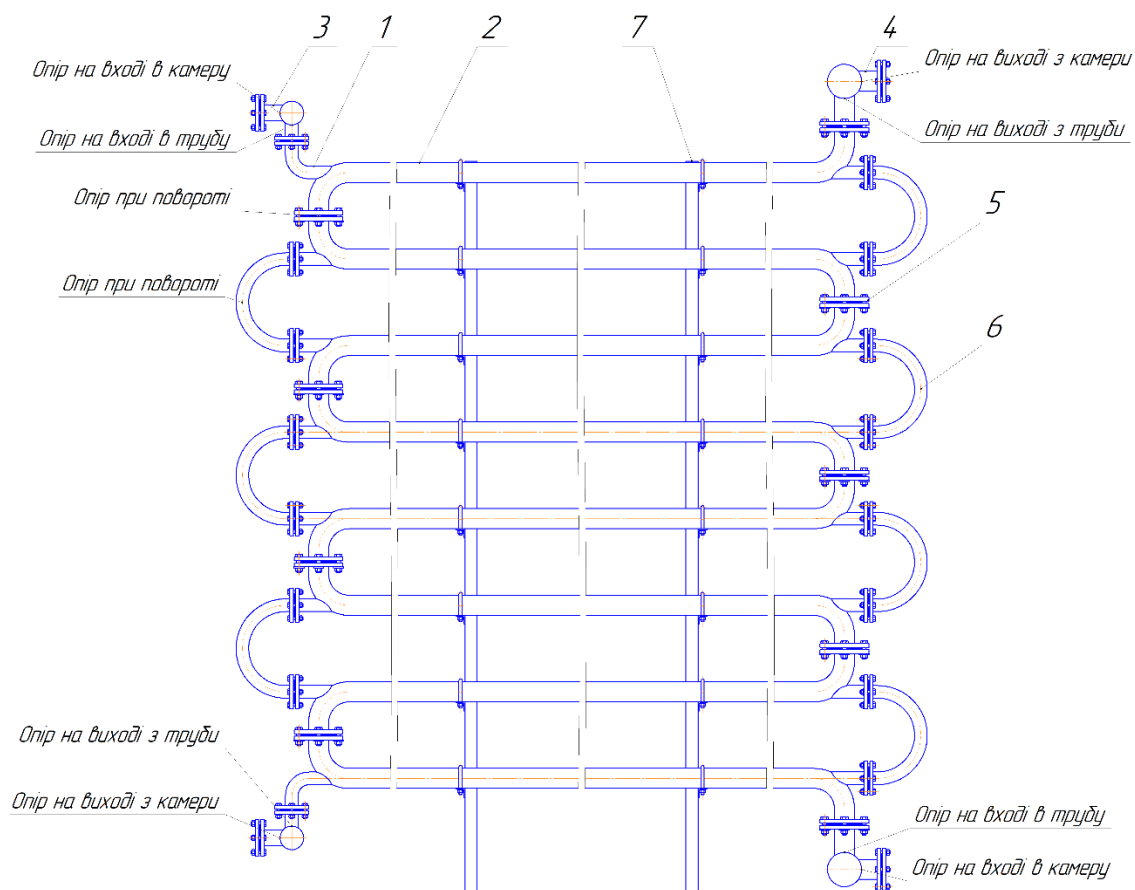


Рисунок 4.3— Розрахункова схема визначення гідравлічних опорів

1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3,4 – патрубки; 5 – фланці; 6 – калач; 7 – опора.

Вихідні дані для розрахунку:

середня температура дистилату, К, $T_2$	320;
густина дистилату при середній температурі, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_2$	920;
швидкість дистилату, м/с, $\omega_2$	0,22;
критерій Рейнольдса, $Re_2$	11906;
середня температура води, К, $T_1$	305;
густина води, кг/м <sup>3</sup> , $\rho_1$	995;
швидкість води, м/с, $\omega_1$	0,12;
критерій Рейнольдса, $Re_1$	3109.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [2].

Коефіцієнт тертя  $\lambda$  визначається залежно від режиму. В турбулентних потоках виділяють три зони. Для вибору розрахункової формули необхідно знати відносну шорсткість труб. Значення відносної шорсткості знайдемо з залежності:

$$e_2 = \frac{\Delta}{d_g} = \frac{0,001}{0,04} = 0,025$$

де  $\Delta$  - абсолютна шорсткість труб,  $\Delta=0,001$  м [2];

$d_g$  – внутрішній діаметр теплообмінних труб,  $d_g = 0,04$  м.

Тоді можна визначити, що в теплообміннику має місце зона змішаного тертя:

$$\frac{10}{e_2} < \text{Re}_2 < \frac{560}{e_2}$$

$$\frac{10}{0,025} < 11906 < \frac{560}{0,025}$$

$$400 < 11906 < 22400.$$

Тоді коефіцієнт тертя визначаємо за формулою [2]:

$$\lambda_2 = 0,11 \left( e_2 + \frac{68}{\text{Re}_2} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( 0,025 + \frac{68}{11906} \right)^{0,25} = 0,046.$$

Коефіцієнти місцевих опорів приймаємо згідно рекомендацій, наведених в [2]:

Вхід в трубу:  $\xi_1 = 0,5$ .

Вихід з труби:  $\xi_2 = 1$ .

Плавний відвід круглого перетину [2]:  $\xi_3 = A \cdot B = 1,40 \cdot 0,1 = 0,14$ .

Коліно з кутом  $90^\circ$ :  $\xi_2 = 1,46$ .

Сумарне значення коефіцієнтів місцевих втрат:

$$\sum \xi = 4 \cdot \xi_1 + 4 \cdot \xi_2 + 21 \cdot \xi_3 + 8 \cdot \xi_4 = 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 1 + 21 \cdot 0,14 + 6 \cdot 1,46 = 17,7.$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді втрати тиску в трубному просторі:

$$\Delta P_m = (\lambda_2 \cdot \frac{z \cdot L}{d_e} + \sum \xi) \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_2^2}{2} = (0,046 \cdot \frac{25 \cdot 4,6}{0,04} + 17,7) \cdot \frac{920 \cdot 0,22^2}{2} = 3339 \text{ Па}.$$

Підбір насоса здійснюємо за величинами необхідного напору та об'ємною витратою [2] :

$$H_2 = \frac{\Delta P_2}{\rho_2 \cdot g} = \frac{3339}{920 \cdot 9,81} = 0,37 \text{ м.}$$

$$Q_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{0,756}{920} = 0,00082 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Потужність, яка необхідна для переміщення соку в трубному просторі теплообмінника:

$$N_2 = \frac{\Delta P_2 \cdot G_2}{1000 \cdot \rho_2 \cdot \eta} = \frac{3339 \cdot 0,756}{1000 \cdot 920 \cdot 0,82} = 0,0033 \text{ кВт,}$$

де  $\eta = 0,82$  - ККД насоса.

Розрахуємо гідравлічний опір міжтрубного простору.

Відносна шорсткість:

$$e_1 = \frac{\Delta}{d_e} = \frac{0,0002}{0,02} = 0,01$$

Визначаємо, що в теплообміннику має місце зона змішаного тертя:

$$\frac{10}{e_1} < \text{Re}_1 < \frac{560}{e_1}$$

$$\frac{10}{0,01} < 3109 < \frac{560}{0,01}$$

$$1000 < 3109 < 56000$$

Коефіцієнт тертя:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_1 = 0,11 \left( e_1 + \frac{68}{\text{Re}_1} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( 0,01 + \frac{68}{3109} \right)^{0,25} = 0,046$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

Опір ділянок оребреної труби:

$$\begin{aligned} \xi_3 &= k_2 \cdot \frac{c_x S_m / F \left[ 1 - (2y / D_o)^2 \right]^3}{(1 - \tau S_m / F_o)^3} = \\ &= 1,5 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,324 \cdot \left[ 1 - (2 \cdot 0,026 / 0,068)^2 \right]^3}{(1 - 1 \cdot 0,324)^3} = 0,0101 \end{aligned}$$

Вхід в трубу  $\xi_1 = 0,5$ ;

Вихід з труби  $\xi_2 = 1$ ;

Сумарне значення коефіцієнтів місцевих втрат:

$$\sum \xi = 29 \cdot (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3) = 29 \cdot (0,5 + 1 + 0,0101) = 43,79.$$

Втрати тиску в міжтрубному просторі:

$$\Delta P_m = \left( \lambda_1 \cdot \frac{z \cdot L}{d_g} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho_1 \cdot \omega_1^2}{2} = (0,046 \cdot \frac{24 \cdot 4,5}{0,02} + 43,79) \cdot \frac{995 \cdot 0,12^2}{2} = 2093 \text{ Па}.$$

Визначаємо напір та об'ємну витрату:

$$H_1 = \frac{\Delta P_1}{\rho_1 \cdot g} = \frac{2093}{995 \cdot 9,81} = 0,214 \text{ м},$$

$$Q_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{0,612}{995} = 0,00062 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Потужність, яка необхідна для переміщення води в міжтрубному просторі теплообмінника:

$$N_1 = \frac{\Delta P_1 \cdot G_1}{1000 \cdot \rho_1 \cdot \eta} = \frac{2093 \cdot 0,612}{1000 \cdot 995 \cdot 0,82} = 0,0016 \text{ кВт},$$

де  $\eta = 0,82$  - ККД насоса.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Так як модернізація розроблюваного теплообмінника зменшує гідравлічний опір, то провівши відповідні розрахунки можна порівняти даний теплообмінник зі стандартним «труба в трубі».

Коефіцієнти місцевих опорів:

Вхід в трубу:  $\xi_1 = 0,5$ .

Вихід з труби:  $\xi_2 = 1$ .

Плавний відвід круглого перетину [2]:  $\xi_3 = A \cdot B = 1,40 \cdot 0,1 = 0,14$ .

Коліно з кутом  $90^\circ$ :  $\xi_2 = 1,46$

Сумарне значення коефіцієнтів місцевих втрат:

$$\sum \xi = 5 \cdot \xi_1 + 5 \cdot \xi_2 + 20 \cdot \xi_3 + 8 \cdot \xi_4 = 5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 1 + 20 \cdot 0,14 + 8 \cdot 1,46 = 21,98.$$

Висновок: таким чином витрати тиску в трубному просторі становлять 3437 Па, а в міжтрубному – 2093 Па. Потужність яка необхідна для переміщення дистилляту  $N_2=3,4$  Вт та води  $N_1=1,6$  Вт. Вибираємо відцентровий насос X8/18 з напором 11,3 м, витратою  $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ .

### 4.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб

#### 4.3.1 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби яка навантажена робочим внутрішнім тиском

Метою розрахунку є перевірка товщини стінки внутрішньої труби яка навантажена внутрішнім робочим тиском.

Розрахункова схема для внутрішньої труби яка навантажена внутрішнім тиском наведена на рисунку 4.4.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52



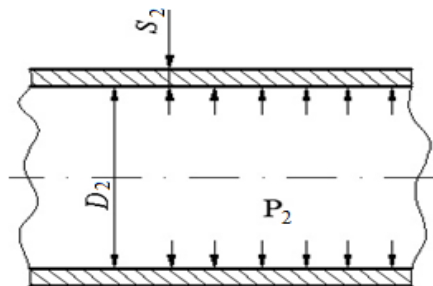


Рисунок 4.4 - Розрахункова схема внутрішньої труби

Вихідні дані для розрахунку:

робочий тиск в середині труби, МПа $P_2$	0,6;
внутрішній діаметр центральної труби, мм, $D_2$	40;
допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$	179,625;
розрахункова температура, °К, $T_2$	320;
матеріал труб	12X18H10T.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [9].

Товщина стінки є стандартною і вибрана відповідно діаметру труби

$$S = 4 \text{ мм [9].}$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск (за ГОСТ 14249-89):

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 179,625 \cdot 0,9 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,46 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3}}{0,04 + 4 \cdot 10^{-3} - 0,46 \cdot 10^{-3}} = 26,288 \text{ МПа,}$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва.

Сума додатків до розрахункової товщини

$$C = C_1 + C_2 = 0,16 + 0,3 = 0,46 \text{ мм}$$

$C_1$  - додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$C_1 = v \cdot \tau = 0,016 \cdot 10 = 0,16 \text{ м,}$$

де  $v$  - швидкість корозії, м/с:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$\tau$  - час служби апарату, роки.

$C_2$  - додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

$$C_2 = 0,3 \text{ мм за ГОСТ 9941-81}$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P = 0,6 \text{ МПа} \leq [P] = 26,288 \text{ МПа}$$

Висновок: Значення робочого тиску  $P=0,6$  МПа не перевищує значення допустимого тиску  $[P] = 26,288$  МПа. Отже умова міцності виконується, обрана товщина стінки труби  $s=0,004$  м забезпечує міцність апарату від навантаження внутрішнім тиском.

#### 4.3.2 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для внутрішньої труби яка навантажена робочим зовнішнім тиском

Метою розрахунку є перевірка товщини стінки внутрішньої труби яка навантажена зовнішнім робочим тиском.

Розрахункова схема для внутрішньої труби яка навантажена зовнішнім тиском наведена на рисунку 4.5.

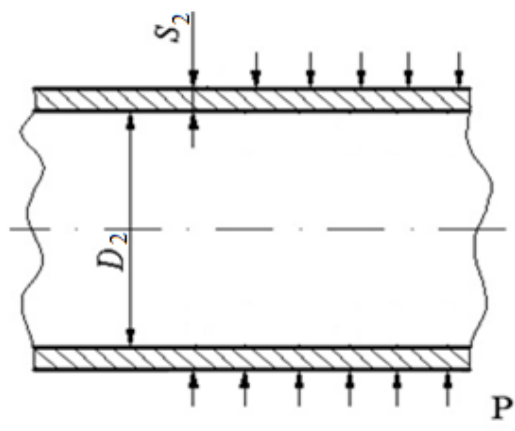


Рисунок 4.5 - Розрахункова схема внутрішньої труби

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Вихідні дані для розрахунку:

розрахунковий тиск ззовні труби, МПа $P_1$	0,5;
внутрішній діаметр внутрішньої труби, мм, $D_2$	40;
допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$	177,75;
матеріал	12X18H10T.
розрахункова температура, °K, $T_2$	320.

Товщина стінки є стандартною і вибрана відповідно до діаметру труби

$$S = 4 \text{ мм [9].}$$

Допустимий тиск з умови міцності:

$$[P]_M = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 177,75 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,32 \cdot 10^{-3})}{0,038 + 4 \cdot 10^{-3} - 0,32 \cdot 10^{-3}} = 29,951 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск з умови стійкості в границях пружності:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (S - C)}{D} \right]^{2,5} =$$
$$\frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,955 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 0,021} \cdot \frac{0,04}{4,5} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,32 \cdot 10^{-3})}{0,04} \right]^{2,5} = 184,1 \text{ МПа}$$

де

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{l} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - C)}} \right\},$$

Звідки

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{0,04}{4,5} \cdot \sqrt{\frac{0,04}{100 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,32 \cdot 10^{-3})}} \right\} = 0,028$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_1 = 0,028.$$

Сума додатків до розрахункової товщини

$$C = C_1 + C_2 = 0,16 + 0,3 = 0,46 \text{ мм}$$

$C_1$  - додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$C_1 = \nu \cdot \tau = 0,016 \cdot 10 = 0,16 \text{ м},$$

де  $\nu$  - швидкість корозії, м/с:

$\tau$  - час служби апарату, роки.

$C_2$  - додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

$$C_2 = 0,3 \text{ мм за ГОСТ 9941-81.}$$

Допустимий зовнішній тиск

$$[P] = \frac{[P]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_M}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{29,951}{\sqrt{1 + \left( \frac{29,951}{184,1} \right)^2}} = 29,56 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P = 0,5 \text{ МПа} \leq [P] = 29,56 \text{ МПа}$$

Висновок: Значення робочого тиску  $P = 0,5$  МПа не перевищує значення допустимого тиску  $[P] = 29,56$  МПа. Отже умова міцності виконується, обрана товщина стінки труби  $s = 0,004$  м забезпечує міцність апарату від навантаження зовнішнього тиску.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

### 4.3.3 Перевірочний розрахунок товщини стінок труб для зовнішньої труби яка навантажена внутрішнім робочим тиском

Метою розрахунку є перевірка товщини стінки зовнішньої труби яка навантажена внутрішнім робочим тиском .

Розрахункова схема для внутрішньої труби яка навантажена внутрішнім тиском наведена на рисунку 4.6.

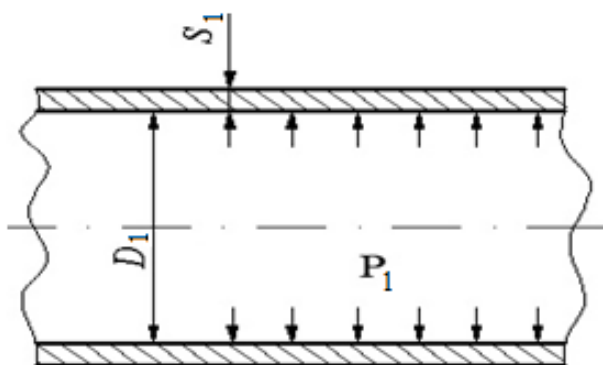


Рисунок 4.6 - Розрахункова схема зовнішньої труби

Вихідні дані для розрахунку:

розрахунковий тиск в середині труби, МПа $P_1$ ,	0,5;
внутрішній діаметр зовнішньої труби труби, мм, $D_1$ ,	68;
допустиме напруження матеріалу, МПа, $[\sigma]$ ,	179,625;
матеріал	12X18H10T;
розрахункова температура , °K, $T_1$ ,	305.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [9].

Товщина стінки є стандартною і вибрана відповідно діаметру труби

$S = 4$  мм [9].

Допустимий внутрішній надлишковий тиск (за ГОСТ 14249-89):

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 177,75 \cdot 0,9 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 0,42 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3}}{0,068 + 4 \cdot 10^{-3} - 0,42 \cdot 10^{-3}} = 16,002 \text{ МПа},$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва,

Сума додатків до розрахункової товщини

$$C = C_1 + C_2 = 0,02 + 0,4 = 0,42 \text{ мм}$$

$C_1$  - додаток до товщини стінки, що враховує корозійний вплив середовища на труби:

$$C_1 = \nu \cdot \tau = 0,002 \cdot 10 = 0,02 \text{ м},$$

де  $\nu$  - швидкість корозії, м/с:

$\tau$  - час служби апарату, роки.

$C_2$  - додаток до товщини стінки, що враховує мінусовий допуск на виготовлення труб.

$C_2 = 0,4 \text{ мм}$  за ГОСТ 9941-81.

Перевіряємо умову міцності:

$$P = 0,5 \text{ МПа} \leq [P] = 16,002 \text{ МПа}$$

Висновок: Значення робочого тиску  $P = 0,5 \text{ МПа}$  не перевищує значення допустимого тиску  $[P] = 16,002 \text{ МПа}$ . Отже умова міцності виконується, обрана товщина стінки труби  $s = 0,004 \text{ м}$  забезпечує міцність апарату від навантаження внутрішнім тиском.

#### 4.4 Розрахунок фланцевого з'єднання

Метою розрахунку – є перевірочний розрахунок вибраних фланців на міц-

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ність, визначення навантаження на кріпильні деталі, визначення діаметру та товщини фланця, кількості та діаметру болтів.

Схема фланцевого з'єднання представлена на рисунку 4.7.

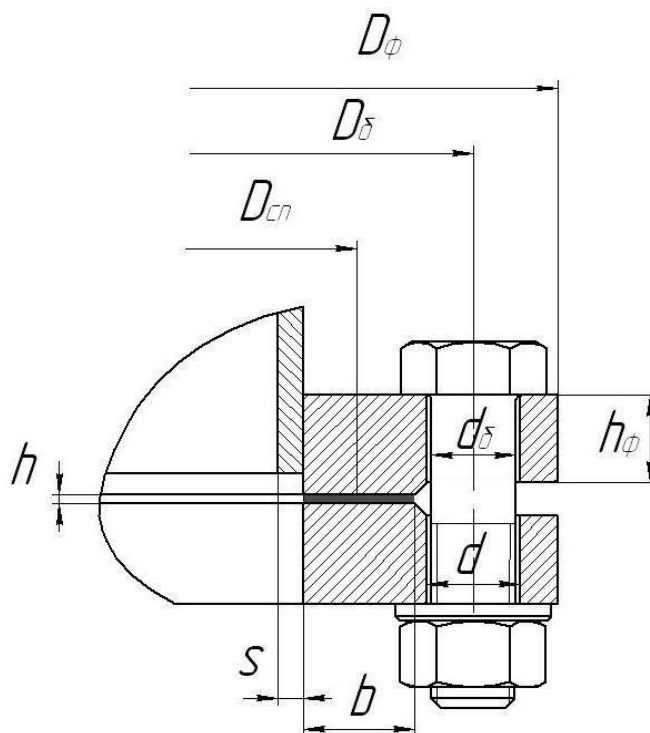


Рисунок 4.7 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

розрахунковий внутрішній тиск, МПа, Р	0,6;
температура середовища в апараті, К, t	45;
внутрішній діаметр фланця, м, D <sub>в</sub>	0,048;
зовнішній діаметр фланця, м, D <sub>φ</sub>	0,130;
діаметр болтового кола, м, D <sub>б</sub>	0,100;
кількість болтів, шт., Z <sub>б</sub>	4;
різьба болтів	M12;
висота першого фланця, м, h <sub>ф1</sub>	0,016;

висота другого фланця, м, $h_{ф2}$	0,016;
товщина стінки апарату, м, $S_1$	0,004;
матеріал фланців	12X18H10T;
матеріал болтів	Сталь 35
зовнішній діаметр прокладки, м, $D_{п}$	0,08
ширина прокладки за таблицею 2 [7], м, $b$	0,016;
товщина прокладки за таблицею 2 [7], м, $S_{пр}$	0,002;
матеріал прокладки	пароніт;
коефіцієнт за таблицею 3 [7], $m$	2,5;
мінімальне питоме навантаження за таблицею 3 [], МПа, $q$	20;
максимальне питоме навантаження за таблицею 3 [], МПа, $[q]$	130;

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [7], який передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Згідно з таблицею для заданих умов підходить плоский приварний фланець з плоскою ущільнювальною поверхнею за ГОСТ 12820-80.

Визначення розрахункової температури болтів фланцевого з'єднання:

$$t_b = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 45 = 42,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначення розрахункової температури фланців:

$$t_b = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 45 = 43,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



Визначення допустимих напружень матеріалу фланців та болтів при температурі монтажу та розрахунковій температурі:

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [7]

при  $20^{\circ}\text{C} = (293\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\phi}]^{20}$  520;

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [7]

при  $43,2^{\circ}\text{C} = (313,2\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\phi}]^t$  490;

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [7]

при  $20^{\circ}\text{C} = (293\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\phi}]^{20}$  520;

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [7]

при  $43,2^{\circ}\text{C} = (313,2\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\phi}]^t$  490;

допустиме напруження матеріалу болтів за [7]

при  $20^{\circ}\text{C} = (293\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\text{б}}]^{20}$  540;

допустиме напруження матеріалу болтів за [7]

при  $42,75^{\circ}\text{C} = (315,75\text{ K})$ , МПа,  $[\sigma_{\text{б}}]^t$  500;

Визначення модуля пружності матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

модуль пружності матеріалу болтів за [7]

при  $42,75^{\circ}\text{C} = (315,75\text{ K})$ , МПа,  $E_{\text{б}}$   $1,96 \cdot 10^5$ ;

модуль пружності матеріалу першого фланця за [7]

при  $43,2^{\circ}\text{C} = (313,2\text{ K})$ , МПа,  $E_{\phi 1}$   $2 \cdot 10^5$ ;

модуль пружності матеріалу другого фланця за [7]

при  $43,2^{\circ}\text{C} = (313,2\text{ K})$  МПа,  $E_{\phi 2}$   $2 \cdot 10^5$ ;

Визначення коефіцієнту відносного лінійного розширення матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

коефіцієнт відносного лінійного розширення болтів за

таблицею 4 [7],  $\text{K}^{-1}, \alpha_{\text{б}}^t$   $1,12 \cdot 10^{-5}$ ;

коефіцієнт відносного лінійного розширення першого фланця за

таблицею 4 [7],  $\text{K}^{-1}, \alpha_{\phi 1}^t$   $1,66 \cdot 10^{-5}$ ;

коефіцієнт відносного лінійного розширення другого фланця за

таблицею 4 [7],  $\text{K}^{-1}, \alpha_{\phi 2}^t$   $1,66 \cdot 10^{-5}$ ;

Попередній розрахунок геометричних параметрів фланців:

За таблицею 2 ГОСТ 12820-80 вибираємо болти М12, тобто  $d_{\text{б}} = 0,012\text{ м}$ .

Середній діаметр прокладки за формулою:

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{н}} - b = 0,08 - 0,016 = 0,064\text{ м},$$

Приймаємо прокладку круглого перерізу  $0,012 \times 0,002\text{ м}$  з пароніту для тиску меншого за  $2,5\text{ МПа}$  і температури не більшої за  $+500^{\circ}\text{C} = (773\text{ K})$ .

Ефективна ширина прокладки при  $b = 0,012 \leq 0,015\text{ м}$  за формулою [7]:

$$b_{\text{Е}} = 0,06\sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,016} = 7,589 \cdot 10^{-3}\text{ м}.$$

Приймаємо за таблицею [ГОСТ 12820-80]  $Z_{\text{б}} = 4\text{ шт.}$

Розрахунок допоміжних величин

Конструктивний коефіцієнт для фланців за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{0,130}{0,048} = 2,71,$$

де:  $D$  – внутрішній діаметр фланця,  $D = 0,048\text{ м}$ .

Конструктивні коефіцієнти для фланців розраховуються за формулою:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_1}} = \frac{0,016}{\sqrt{0,048 \cdot 0,004}} = 1,155,$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_2}} = \frac{0,016}{\sqrt{0,048 \cdot 0,004}} = 1,155,$$

Поправочні коефіцієнти для фланців за формулою:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 2,71 = 0,55,$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{2,71 + 1}{2,71 - 1} = 2,171.$$

Поправочний коефіцієнт для перерізу  $S_1$  для плоских приварних фланців:

$$\psi_{3\phi} = 1.$$

Геометричні параметри фланців за формулою:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_1} = \frac{0,016}{0,004} = 4,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_2} = \frac{0,016}{0,004} = 4.$$

Безрозмірні параметри фланців розраховується за формулами:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{2,71^2 \cdot (1 + 8,55 \lg 2,71) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 2,71^2) \cdot (2,71 - 1)} = 1,279,$$

$$\omega_{\phi 1} = \left( 1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot \left( 1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2 \right) \right)^{-1} = \left( 1 + 0,9 \cdot 1,155 \left( 1 + 0,554 \cdot 4^2 \right) \right)^{-1} = 0,089,$$

$$\omega_{\phi 2} = \left( 1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot \left( 1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2 \right) \right)^{-1} = \left( 1 + 0,9 \cdot 1,155 \left( 1 + 0,554 \cdot 4^2 \right) \right)^{-1} = 0,089.$$

Кутова піддатливість фланців за формулою:

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,089 \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,155)) \cdot 2,171}{0,016^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,169 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

$$y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,07 \cdot (1 + 0,9 \cdot 1,155)) \cdot 2,171}{0,016^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2,169 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}.$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання за формулою:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + s_{np} + 0,28d_B = 0,016 + 0,016 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,012 = 0,037 \text{ м},$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки за формулою:

$$y_n = \frac{s_{np}}{\pi \cdot D_{c.n.} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,064 \cdot 0,016 \cdot 2000} = 3,108 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

Площа поперечного перерізу болта за формулою:

$$f_B = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,00985^2 = 7,616 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

де  $d_0$  – внутрішній діаметр різьби болта,  $d_0 = 0,00985 \text{ м}$ .

Лінійна піддатливість болтів за формулою:

$$y_B = \frac{L_B}{E_B \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,037}{1,96 \cdot 10^5 \cdot 7,616 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 6,257 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

Температура болтів за формулою:

$$t_B = 0,97t_{\phi} = 0,96 \cdot 45 = 43,2^{\circ}\text{C} = (313,2 \text{ К}).$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання за формулою:

$$A_{\phi} = (y_n + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn}))^{-1},$$

$$A_{\phi} = (3,108 \cdot 10^{-4} + 6,257 \cdot 10^{-4} + 0,25(2,169 + 2,169)(0,100 - 0,064)^2)^{-1} = 426,927.$$

Параметри жорсткості фланців розраховуються за формулою:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_1) = 2,169 \cdot (0,100 - 0,048 - 0,004) = 0,104 \frac{1}{\text{МН}},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_2) = 2,169 \cdot (0,100 - 0,048 - 0,004) = 0,104 \frac{1}{\text{МН}}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання за формулою:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 426,927 \cdot 6,257 \cdot 10^{-4} = 0,267.$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання за формулою:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot (y_B + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_B - D_{\text{сн}})),$$

$$\alpha_{\phi} = 426,927 \cdot (6,257 \cdot 10^{-4} + 0,25(0,104 + 0,104)(0,100 - 0,064)) = 1,067.$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання.

Рівнодіюча внутрішнього тиску розраховується за формулою за формулою:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{\text{сн}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 0,064^2 \cdot 0,6 = 1,929 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Реакція прокладок в робочих умовах за формулою:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,064 \cdot 0,007589 \cdot 2,5 \cdot 0,6 = 4,578 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, МН за формулою:

$$Q_{\text{тф}} = \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B (a_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - a_B^t \cdot t_B),$$

$$Q_{\text{тф}} = 0,267 \cdot 4 \cdot 7,616 \cdot 10^{-5} \cdot 1,96 \cdot 10^5 (1,66 \cdot 10^{-5} \cdot 43,2 - 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 42,75) = 3,801 \cdot 10^{-3} \text{ МН},$$

де:

$$a_{\phi}^t = \frac{a_{\phi 1}^t + a_{\phi 2}^t}{2} = \frac{(1,66 + 1,66) \cdot 10^{-5}}{2} = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1},$$

де:  $a^t$  – коефіцієнт лінійного розширення фланців і болтів.

Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання за формулою:

$$P'_{B1} = \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,064 \cdot 0,007589 \cdot 20 = 0,031 \text{ МН},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot Q_g + R_n = 1,067 \cdot (1,929 \cdot 10^{-3} + 0,09) + 0,0045 = 0,103 \text{ МН},$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 540 \cdot 4 \cdot 7,616 \cdot 10^{-5} = 0,066 \text{ МН}.$$

Розрахункове монтажне болтове навантаження при  $P \leq 0,6 \text{ МПа}$  за формулою:

$$P_{Б1} = \max(P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}) = \max(0,031; 0,103; 0,066) = 0,103 \text{ МН}.$$

Умова міцності для неметалевої прокладки за формулою:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b} \leq [q],$$

$$\frac{0,103}{3,14 \cdot 0,064 \cdot 0,016} = 31,924 \leq 130.$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов за формулою:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) Q_g + Q_{тф} = 0,103 + (1 - 1,67) 1,929 \cdot 10^{-3} + 0,0038 = 0,1 \text{ МН}.$$

Розрахункове навантаження на болти за формулою:

$$P_{Б\phi} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = \max(0,103; 0,1) = 0,103 \text{ МН}.$$

Напруження розтягування болтів за умов монтажу за формулою:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,103}{4 \cdot 7,616 \cdot 10^{-4}} = 337,102 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягування болтів за робочих умов за формулою:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{Б2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,1}{4 \cdot 7,616 \cdot 10^{-4}} = 329,257 \text{ МПа}.$$

Скручуючий момент, що виникає при затягуванні гайок за формулою:

$$M_{скр} = f_l \frac{P_{Б\phi}}{z_B} d_B = 0,1 \cdot \frac{0,103}{4} 0,012 = 3,081 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

де  $f_1$  – коефіцієнт тертя,  $f_1 = 0,1$ .

Дотичне напруження в болтах за формулою:

$$\tau_b = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{3,081 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,00985^3} = 161,193 \text{ МПа},$$

де  $d_0$  – внутрішній діаметр різьби болтів,  $d_0 = 0.00985 \text{ м}$ .

Еквівалентні напруження в болтах за формулою:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{(\sigma_b^{20})^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = \sqrt{337,102^2 + 3 \cdot 161,193^2} = 437,707 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{(\sigma_b^t)^2 + 3 \cdot \tau_b^2} = \sqrt{329,258^2 + 3 \cdot 161,193^2} = 431,694 \text{ МПа}.$$

Умови міцності за формулою:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} \leq [\sigma_b]^{20},$$

$$437,707 \leq 540,$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t \leq [\sigma_b]^t,$$

$$431,694 \leq 500,$$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу за формулою:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{\text{Б1}} (D_{\text{Б}} - D_{\text{сн}}) = 0,5 \cdot 0,103 \cdot (0,100 - 0,064) = 1,849 \cdot 10^{-3} \text{ МН·м}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов за формулою:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot (P_{\text{Б2}} (D_{\text{Б}} - D_{\text{сн}}) + Q_{\text{г}} (D_{\text{сн}} - D - S_0)) \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t},$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$M_{02\phi} = 0,5 \left( 0,1(0,100 - 0,064) + 1,929 \cdot 10^{-3} (0,064 - 0,048 - 0,004) \right) \frac{520}{490} = 1,928 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$\frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} = \max \left( \frac{[\sigma_{\phi 1}]^{20}}{[\sigma_{\phi 1}]^t}; \frac{[\sigma_{\phi 2}]^{20}}{[\sigma_{\phi 2}]^t} \right) = \max \left( \frac{520}{490}; \frac{520}{490} \right) = \frac{520}{490}.$$

Розрахунковий приведений згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця за формулою:

$$M_{\phi} = \max(M_{01}; M_{02}) = \max(1,849 \cdot 10^{-3}; 1,928 \cdot 10^{-3}) = 1,928 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі фланців від дії згинаючого моменту  $M_{\phi}$  за формулою:

$$\sigma_{\phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\phi} \cdot M_{\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D_1 \cdot (S_1 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,279 \cdot 1,928 \cdot 10^{-3} \cdot 0,088}{0,048 \cdot (0,004 - 0,00046)^2} = 364,575 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\phi} \cdot M_{\phi} \cdot \omega_{\phi 2}}{D_2 \cdot (S_2 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,279 \cdot 1,928 \cdot 10^{-3} \cdot 0,088}{0,048 \cdot (0,004 - 0,00046)^2} = 364,575 \text{ МПа}.$$

Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{\phi}$  за формулою:

$$\sigma_{\kappa \phi 1} = \frac{M_{\phi} (1 - \omega_{\phi 1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \psi_{2\phi}}{D_1 \cdot h_{\phi 1}^2} = \frac{1,929 \cdot 10^{-3} (1 - 0,088 (1 + 0,9 \cdot 1,155)) \cdot 2,059}{0,048 \cdot 0,016^2} = 278,9 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\kappa \phi 2} = \frac{M_{\phi} (1 - \omega_{\phi 2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} = \frac{1,929 \cdot 10^{-3} (1 - 0,088 (1 + 0,9 \cdot 1,155)) \cdot 2,059}{0,048 \cdot 0,016^2} = 278,9 \text{ МПа}.$$

Кільцеве і меридіальне напруження у втулці фланця від дії внутрішнього тиску за формулою:

$$\sigma_{\kappa \phi 1} = \sigma_{\kappa \phi 2} = \frac{P \cdot D_1}{2 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,6 \cdot 0,048}{2 \cdot (0,004 - 0,00046)} = 4,068 \text{ МПа},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68



$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{P \cdot D_1}{4 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,6 \cdot 0,048}{4 \cdot (0,004 - 0,00046)} = 2,034 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в перерізі втулки фланця за формулою:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{o\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{o\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}},$$

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(364,575 + 2,034)^2 + 4,067^2 - (364,575 + 2,034) \cdot 4,068} = 364,592 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{o\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{o\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}},$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(364,575 + 2,034)^2 + 4,067^2 - (293,412 + 2,034) \cdot 4,068} = 364,592 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умови міцності за формулою:

$$\sigma_{E\phi 1} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_o}] \varphi,$$

$$\sigma_{E\phi 2} \leq [\sigma_{\phi 2}^{S_o}] \varphi,$$

$$364,592 \leq 540,$$

$$364,592 \leq 540,$$

де:

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_o}] = 0,003 \cdot E'_{\phi 1} = 0,003 \cdot E'_{\phi 1} = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа,}$$

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi = 6000,9 = 540 \text{ МПа,}$$

$$[\sigma_{\phi 2}^{S_o}] \cdot \varphi = 6000,9 = 540 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

Перевіряємо виконання умов герметичності за формулою:

$$\frac{\sigma_{k\phi 1} \cdot D_1}{h_{\phi 1} \cdot E_{\phi 1}} = \frac{278,89 \cdot 0,048}{0,016 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,00418 \leq [\theta] = 0,009,$$

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} \cdot D}{h_{\phi 2} \cdot E_{\phi 2}} = \frac{278,89 \cdot 0,048}{0,016 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,00418 \leq [\theta] = 0,009,$$

де: при  $D \leq 2\text{м}$   $[\theta] = 0,009$  рад.

Умови герметичності виконуються.

Висновок: діючі напруження в фланцевому з'єднанні не перевищують допустимі напруження матеріалу фланців.

Приймаємо стандартні фланці за ГОСТ 12820-80:

зовнішній діаметр, м, $D_{\phi}$	0,130;
діаметр болтового кола, м, $D_{\text{б}}$	0,100;
товщина фланця, м, $h_{\phi 1}$	0,016;
товщина фланця, м, $h_{\phi 2}$	0,016;
кількість болтів, шт., $Z_{\text{б}}$	4;
діаметр болтів, м, $d_{\text{б}}$	0,012.

#### 4.5 Розрахунок опор на міцність

Метою розрахунку є перевірочний розрахунок опори на міцність, визначення навантажень, які діють на опору.

Розрахункова схема опор зображена на рисунку 4.8.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

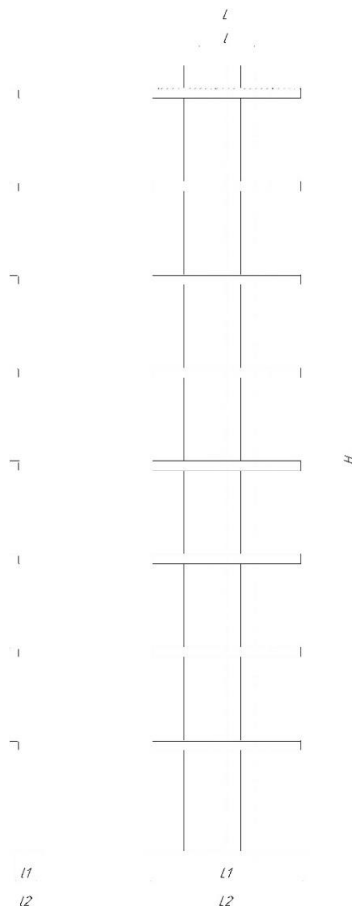


Рисунок 4.8 – Схема опори

Для встановлення теплообмінних апаратів типу «труба в трубі» на робочому місці застосовують етажерні опори. Опора для даного теплообмінника представляє собою зварну жорстку конструкцію з профільного сортаменту: кутиків як підтримуючої опори та швелерів як несучої опори.

Для того, щоб вибрати необхідний номер профілю, потрібно розрахувати масу всього апарату.

Визначимо масу одного елементу. Для цього визначаємо об'єм рідини, що знаходиться в трубах та об'єм матеріалу, що містить конструкція даного елементу.

Для внутрішньої труби:

$$V_{\text{вн}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 4,911}{4} = 0,0062 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\text{вн}}$  - внутрішній діаметр внутрішньої труби теплообмінника, м;

$H$  - довжина труби, м.

$$V_{\text{вн}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зов}} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,048 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 4,911 = 0,0027 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\text{зов}}$  - зовнішній діаметр внутрішньої труби теплообмінника, м;

$S$  - товщина стінки внутрішньої труби, м.

Тоді маса внутрішньої труби теплообмінника:

$$m_{\text{вн.тр.}} = m_{\text{вн}}^{\text{рід}} + m_{\text{вн}}^{\text{ст}} + 2 \cdot m_{\text{ф1}} = 5,704 + 21,38 + 2 \cdot 1,21 = 29,5 \text{ кг},$$

де  $m_{\text{вн}}^{\text{рід}} = V_{\text{вн}}^{\text{рід}} \cdot \rho_2 = 0,0062 \cdot 920 = 5,704 \text{ кг}$  – маса рідини, що знаходиться в трубі,

$m_{\text{вн}}^{\text{ст}} = V_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} = 0,0027 \cdot 7920 = 21,38 \text{ кг}$  – маса сталі, з якої виготовлена труба,

$m_{\text{ф1}} = 1,21 \text{ кг}$  – маса фланця який приварений на внутрішній трубі,

де  $\rho_{\text{ст}} = 7920 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі 12Х18Н10Т.

Для зовнішньої труби:

$$V_{\text{зов}}^{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{екв}}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 4,5}{4} = 0,0014 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\text{екв}} = D_{\text{зов}} - D_{\text{вн}} = 0,068 - 0,048 = 0,02 \text{ м};$

$H$  - довжина труби, м.

$$V_{\text{зов}}^{\text{ст}} = \pi \cdot (D_{\text{зов}} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,076 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 4,5 = 0,0041 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\text{зов}}$  - зовнішній діаметр зовнішньої труби теплообмінника, м;

$S$  - товщина стінки зовнішньої труби, м.

Тоді маса зовнішньої труби теплообмінника:

$$m_{\text{зов.тр.}} = m_{\text{зов}}^{\text{рід}} + m_{\text{зов}}^{\text{ст}} = 1,393 + 32,47 = 33,86 \text{ кг},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $m_{306}^{pid} = V_{306}^{pid} \cdot \rho_1 = 0,0014 \cdot 995 = 1,393$  кг – маса рідини, що знаходиться в трубі;

$m_{306}^{cm} = V_{306}^{cm} \cdot \rho_{cm} = 0,0041 \cdot 7920 = 32,47$  кг – маса сталі, з якої виготовлена труба.

Для патрубків який приварений на зовнішній трубі:

$$V_{nat}^{pid} = \frac{\pi \cdot D_{вн}^2 \cdot H}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,085}{4} = 1,068 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

де  $D_{вн}$  - внутрішній діаметр патрубка, м;

$H$  - довжина патрубка, м.

$$V_{nat}^{cm} = \pi \cdot (D_{306} - S) \cdot S \cdot H = 3,14 \cdot (0,058 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 0,085 = 5,765 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3,$$

де  $D_{306}$  - зовнішній діаметр патрубка, м;

$S$  - товщина стінки патрубка, м.

Тоді маса патрубка:

$$m_{nat} = m_{nat}^{pid} + m_{nat}^{cm} + m_{\phi 2} = 0,11 + 0,457 + 1,31 = 1,88 \text{ кг},$$

де  $m_{nat}^{pid} = V_{nat}^{pid} \cdot \rho_1 = 1,068 \cdot 10^{-4} \cdot 995 = 0,11$  кг – маса рідини, що знаходиться в патрубку,

$m_{nat}^{cm} = V_{nat}^{cm} \cdot \rho_{cm} = 5,765 \cdot 10^{-5} \cdot 7920 = 0,457$  кг – маса сталі, з якої виготовлений патрубок,

$m_{\phi 2} = 1,31$  кг – маса фланця який приварений на патрубок,

де  $\rho_{cm} = 7920 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі 12Х18Н10Т.

Маса одного елементу теплообмінника:

$$m_{ел} = m_{вн.тр.} + m_{зов.тр.} + 2 \cdot m_{nat} = 29,5 + 33,86 + 2 \cdot 1,88 = 67,12 \text{ кг}.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно визначити масу калача, що з'єднує елементи між собою. Об'єм рідини, що знаходиться в калачі під час роботи:

$$V_{\kappa}^{pid} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa}^2 \cdot l}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 0,328}{4} = 0,00041 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\kappa}$  - внутрішній діаметр труби калача теплообмінника, м;

$l$  - довжина труби калача, м.

$$V_{\kappa}^{cm} = \pi \cdot (D_{\text{зов}_{\kappa}} - S_{\kappa}) \cdot S_{\kappa} \cdot l = 3,14 \cdot (0,048 - 0,004) \cdot 0,004 \cdot 0,328 = 0,00018 \text{ м}^3,$$

де  $D_{\text{зов}_{\kappa}}$  - зовнішній діаметр труби калача теплообмінника, м;

$S_{\kappa}$  - товщина стінки калача, м.

Тоді маса калача:

$$m_{\kappa} = m_{\kappa}^{pid} + m_{\kappa}^{cm} + 2 \cdot m_{\phi 1} = 0,38 + 1,43 + 2 \cdot 1,21 = 4,23 \text{ кг},$$

де  $m_{\kappa}^{pid} = V_{\kappa}^{pid} \cdot \rho_2 = 0,00041 \cdot 920 = 0,38 \text{ кг}$  – маса рідини, що знаходиться в калачі,

$m_{\kappa}^{cm} = V_{\kappa}^{cm} \cdot \rho_{cm} = 0,00018 \cdot 7920 = 1,43 \text{ кг}$  – маса сталі, з якої виготовлена труба,

$m_{\phi 1} = 1,21 \text{ кг}$  – маса фланця який приварений на калачі,

де  $\rho_{cm} = 7920 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі 12Х18Н10Т.

Необхідно підібрати потрібний розмір профілю опорної балки. Розрахункова схема навантаження зображена на рисунку 4.9.

На одну опору діє навантаження  $P = \frac{m_{el}}{2} = \frac{67,12}{2} = 33,56 \text{ кг} = 335,6 \text{ Н}$ , оскільки кожна труба розміщена на двох опорних балках.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

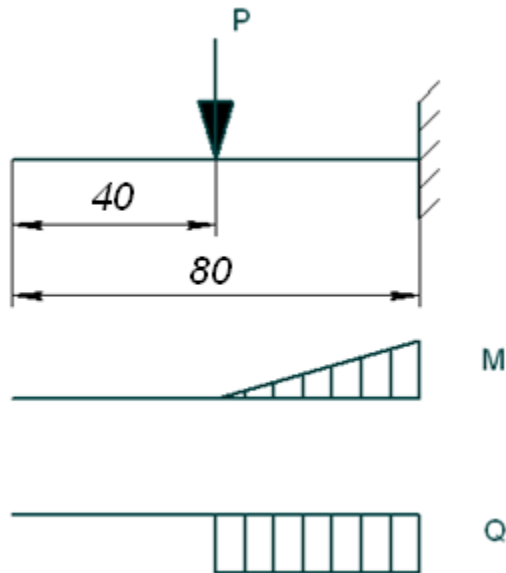


Рисунок 4.9 – Схема навантаження опори

Максимальний вигинаючий момент:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{2} = \frac{335,6 \cdot 0,8}{2} = 134,24 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа}.$$

Звідси величина моменту опору:

$$W_{\text{розрах}} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}} = \frac{134,24}{160 \cdot 10^6} = 8,39 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Із таблиці сортаменту кутиків вибираємо профіль кутика який задовольняє розрахункове значення моменту опору  $W$ .

Отримуємо:

Кутик № 35

Основні розміри  $35 \times 35 \times 4$ .

$W = 1,21 \text{ см}^3$ ;  $F = 2,67 \text{ см}^2$ ;  $m = 2,10 \text{ кг}$  – маса профілю за 1 погонний метр.

Для того, щоб розрахувати масу всієї конструкції, що здійснює навантаження на нижній переріз швелерів, задаємо номер профілю керуючись конструктивними міркуваннями. Приймаємо швелер № 10 П:  $m = 8,59$  кг за 1 погонний метр, площа перерізу  $F = 10,9$  см<sup>2</sup>.

Тоді маса чотирьох балок довжиною 2,77 м:

$$m_{шв} = 4 \cdot 2,77 \cdot m = 4 \cdot 2,77 \cdot 8,59 = 95,17 \text{ кг.}$$

Маса 16 балок кутового профілю довжиною 0,52 м :

$$m_{кут} = 16 \cdot m = 16 \cdot 0,52 \cdot 2,42 = 20,13 \text{ кг.}$$

Маса 24 елементів теплообмінника «труба в трубі»:

$$m_{ан} = 24 \cdot m_{ел} = 24 \cdot 67,12 = 1611 \text{ кг.}$$

Маса 21 калача, що з'єднують теплообмінні елементи:

$$m_{кзг} = 21 \cdot m_k = 21 \cdot 4,23 = 88,8 \text{ кг.}$$

Тоді маса всієї конструкції:

$$m_{конс} = m_{ан} + m_{кут} + m_{шв} + m_{кзг} = 1611 + 20,13 + 95,17 + 88,8 = 1815 \text{ кг.}$$

Зусилля, що діє на одну опору:

$$P = \frac{m_{конс}}{4} = \frac{1815}{4} = 453,75 \text{ кг} = 453,75 \cdot 9,81 = 4451,3 \text{ Н.}$$

Умова міцності:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа;}$$

$$\frac{P}{F} = \frac{4451,3}{10,9 \cdot 10^{-4}} = 4083761 \text{ Па} = 4,1 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Висновок: умова міцності виконується, отже приймаємо швелер №10.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76



## 4.6 Параметричний розрахунок ректифікаційної колони

Головною метою розрахунку є визначення кількості тарілок та основних розмірів ректифікаційної колони.

Розрахункова схема ректифікаційної колони представлена на рисунку 4.10.

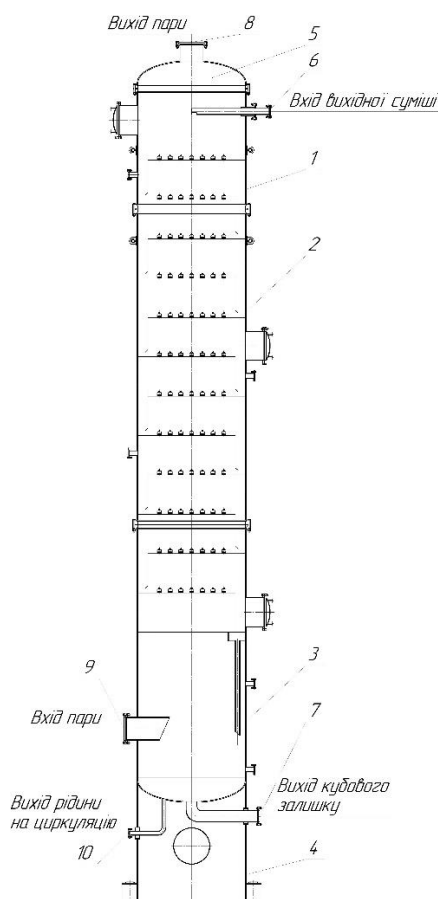


Рисунок 4.10 – Розрахункова схема ректифікаційної колони

1 – секція верхня; 2 – секція основна; 3 – секція нижня; 4 – секція опорна; 5 – кришка; 6 – штуцер вводу сировини; 7 – штуцер виходу продукту з кубу; 8 – вихід парів; 9 – вхід продукту з кип'ятильника; 10 – вихід продукту у кип'ятильник.

Вихідні данні:

Продуктивність установки, кг/с,  $G$  2,22;

Вміст метанолу в суміші, % 35;

Вміст води в суміші, % 65;

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вміст метанолу у дистилаті, % 97;

Кубовий залишок, % 3.

Параметричний розрахунок теплообмінника «труба в трубі» здійснено за методикою, наведеною у [10].

Складемо рівняння матеріального балансу:

- по потокам

$$G'_D + G'_W = 2,22;$$

- по метанолу

$$G'_D \cdot 0,97 + G'_W \cdot 0,03 = 2,22 \cdot 0,35 ,$$

де  $G'_D, \text{кг} / \text{с}$  – масові витрати дистилату,  $G'_W, \text{кг} / \text{с}$  – масові витрати кубового залишку.

Із цієї системи рівнянь знаходимо:

$$G'_D = 0,756 \text{ кг/с}; G'_W = 1,464 \text{ кг/с}.$$

Для подальших розрахунків необхідно концентрації живлення, дистилату і кубового залишку виразити в мольних долях:

- живлення

$$x_f = \frac{\frac{x'_f}{M_a}}{\frac{x'_f}{M_a} + \frac{100 - x'_f}{M_b}} = \frac{\frac{35}{32}}{\frac{35}{32} + \frac{100 - 35}{18}} = 0,233 ,$$

де  $x'_f$  – відсотковий вміст метанолу в суміші,  $M_a, M_b$  – молярні маси метанолу та води відповідно;

- дистилат

$$x_D = \frac{\frac{x'_D}{M_a}}{\frac{x'_D}{M_a} + \frac{100 - x'_D}{M_b}} = \frac{\frac{97}{32}}{\frac{97}{32} + \frac{100 - 97}{18}} = 0,948,$$

де  $x'_D$  – відсотковий вміст метанолу у дистилаті,  $M_a, M_b$  – молярні маси метанолу та води відповідно;

- кубовий залишок

$$x_W = \frac{\frac{x'_W}{M_a}}{\frac{x'_W}{M_a} + \frac{100 - x'_W}{M_b}} = \frac{\frac{3}{32}}{\frac{3}{32} + \frac{100 - 3}{18}} = 0,017,$$

де  $x'_W$  – відсотковий вміст кубового залишку,  $M_a, M_b$  – молярні маси метанолу та води відповідно.

Визначаємо число тарілок. На основі даних таблиці 1 будуємо криву температур кипіння суміші (рис. 4.11) та криву рівноваги у координатах  $x - y$  для суміші метанол – вода при тиску 0,1 МПа (рис. 4.12).

Таблиця 4.1 – Рівноважні склади рідини і пару бінарної системи метанол – вода

$x$	0,56	2,21	3,47	5,89	12,35	19,45	27,25	36,1	46,1	56,9	69,3	83,6
$y$	4,08	14,75	20,6	30,5	45,7	57,5	65,1	70,9	76	81,1	90,25	93,25
$t$	99,5	98	95	90	85	81	78	75	72,5	70,5	68,5	66

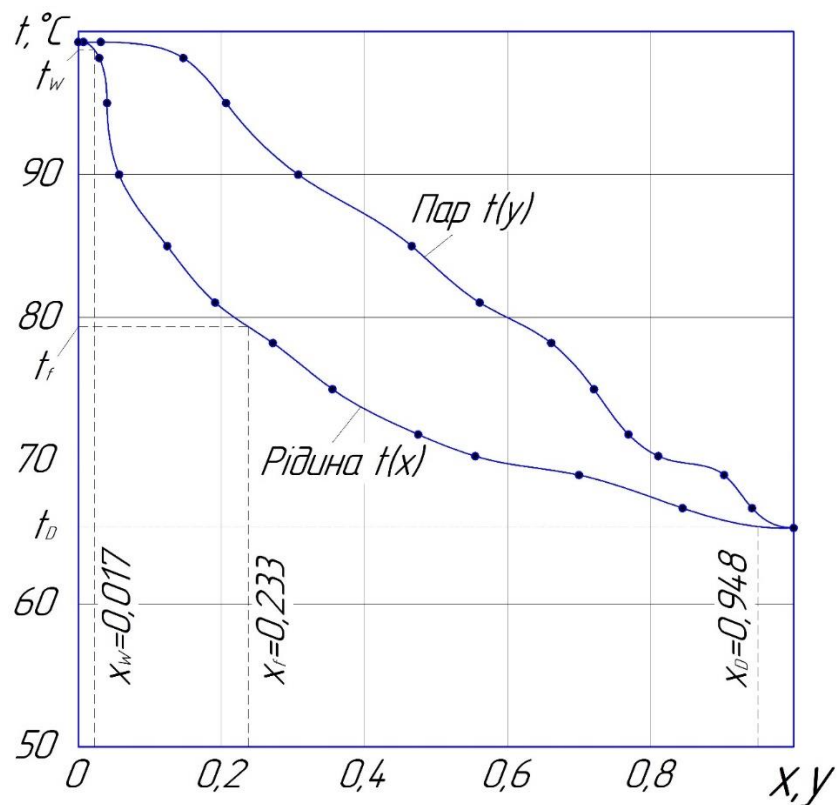


Рисунок 4.11 – Криві температур кипіння суміші метанолу та води

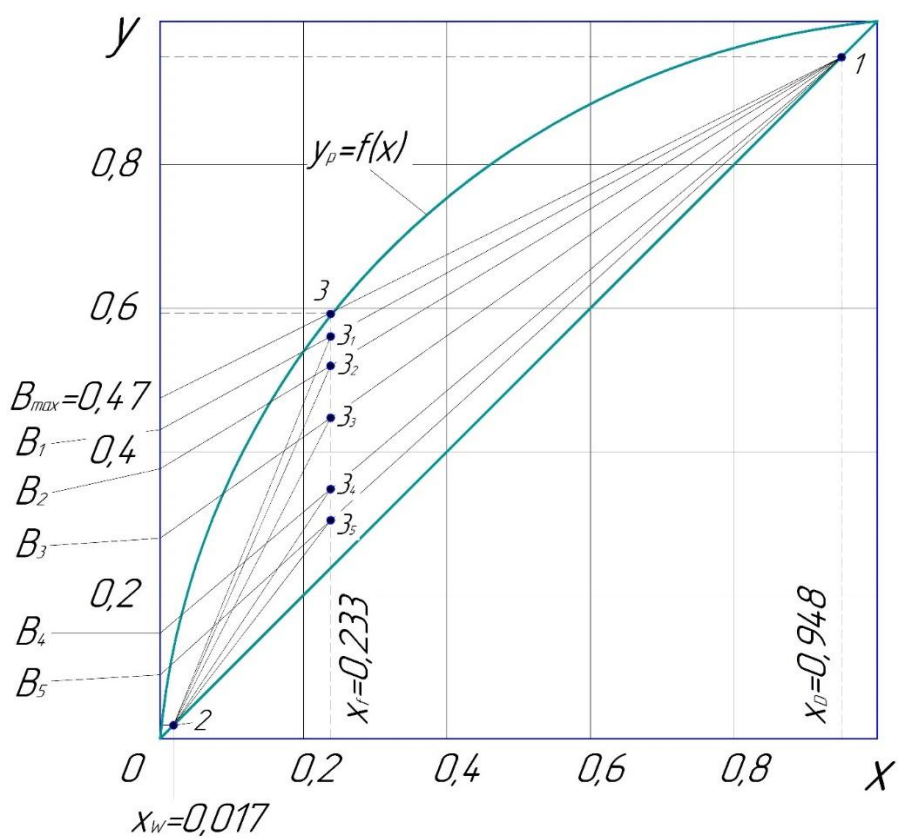


Рисунок 4.12 – Визначення оптимального флегмового числа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН71мн.065152.000 ПЗ

Арк.

80

На діаграмі (рис. 4.12) наносимо точку 1 з координатами  $x_D = y_D = 0,948$  і точку 2 з координатами  $x_W = y_W = 0,017$ , а на кривій рівноваги точку 3 з абсцисою  $x_f = 0,233$ .

Із точки 1 через точку 3 проводимо пряму до перетину з ординатою діаграми. На осі ординат отримуємо відрізок, рівний  $B_{\max} = 0,47$ .

Так як

$$B_{\max} = \frac{x_D}{R_{\min} + 1},$$

то

$$R_{\min} = \frac{x_D - B_{\max}}{B_{\max}} = \frac{0,948 - 0,47}{0,47} = 1,017.$$

Для флегмових чисел більше 1,017 знаходимо значення відрізка  $B$  на діаграмі по формулі:

$$B = \frac{x_D}{R + 1}.$$

Таблиця 4.2 – Залежність значення відрізка від флегмового числа

№	1	2	3	4	5
R	1,2	1,5	2,56	5,62	11,24
B	0,431	0,379	0,266	0,143	0,078

З'єднуючі верхні точки  $B$  відрізків на діаграмі з точкою 1, отримуємо ряд робочих ліній верхньої частини колони 1-3<sub>1</sub>, 1-3<sub>2</sub>, 1-3<sub>3</sub>, 1-3<sub>4</sub>, 1-3<sub>5</sub>.

З'єднуючи точки 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub>, 3<sub>4</sub>, 3<sub>5</sub> з точкою 2, отримуємо ряд робочих ліній нижньої частини колони 2-3<sub>1</sub>, 2-3<sub>2</sub>, 2-3<sub>3</sub>, 2-3<sub>4</sub>, 2-3<sub>5</sub>.

Для обраних флегмових чисел графічно знаходимо відповідні числа ступенів зміни концентрацій (рис. 4.13).

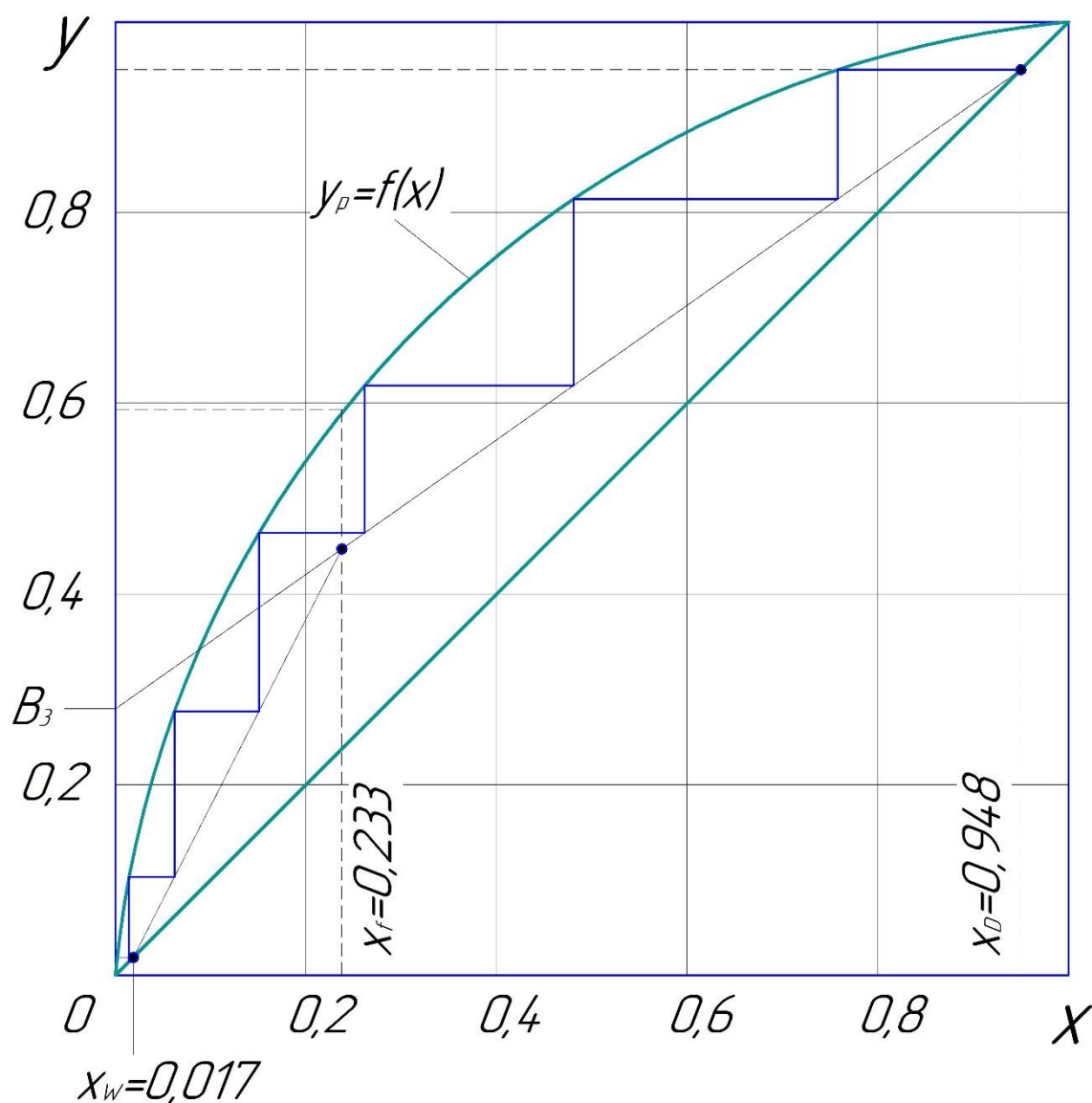


Рисунок 4.13 – Графічне визначення числа ступенів зміни концентрацій (при  $R=2,56$ )

Таблиця 4.3 – Залежність числа ступеня зміни концентрацій від вибраних флегмових чисел

№	1	2	3	4	5
R	1,2	1,5	2,56	5,62	11,24
N	9,5	7,5	6	4,7	4,5

Точка  $M$  на графіку (рис. 4.14), побудованому по цих даних, відповідає оптимальному значенню робочого числа флегми і відповідному числу ступенів зміни концентрацій (теоретичному числу тарілок).

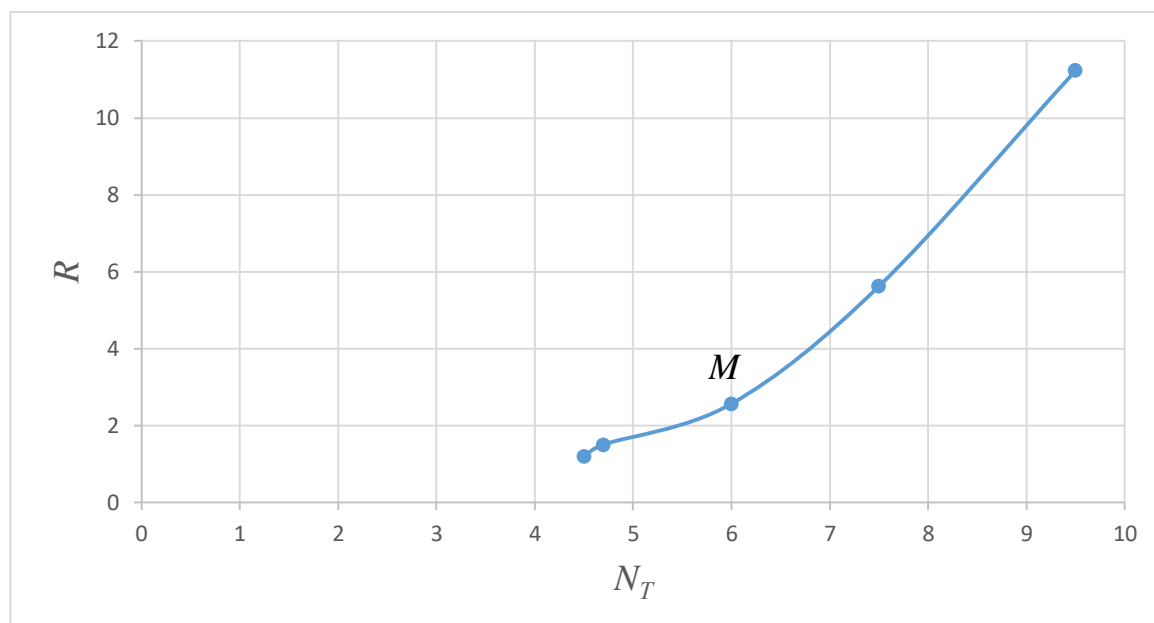


Рисунок 4.14 – Залежність між флегмовим числом  $R$  та числом ступенів зміни концентрації  $N_T$

$$R=2,56; N_T=6.$$

Дійсне число тарілок:

$$N_D = \frac{N_T}{\eta_T},$$

де  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії тарілки.

Так як  $\eta_T$  являється функцією виразу  $\mu\alpha$  (в'язкості та відносної летючості), в'язкість суміші розраховуємо за формулою:

$$\lg \mu_c = m_1 \lg \mu_1 + m_2 \lg \mu_2 + \dots + m_i \lg \mu_i,$$

де  $\mu_i$  – в'язкість окремого компонента;  $m_i$  – молярна концентрація компонента в суміші.

Відносна летючість:

$$\alpha = \frac{p_a}{p_b},$$

де  $p_a$  – тиск низькокиплячого компонента;  $p_b$  – тиск висококиплячого компонента.

Використовуючи (рис. 4.11) знаходимо  $\mu_c$ .

Суміш нижньої частини колони:

$$t = 99^\circ\text{C}; \quad \mu_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{CH}_3\text{OH}} = 280000 \text{ Па};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 100000 \text{ Па};$$

$$\lg \mu_c = 0,017 \cdot \lg 0,23 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,017) \cdot \lg 0,25 \cdot 10^{-3} = -3,603;$$

$$\mu_c = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\alpha_1 = \frac{280000}{100000} = 2,8.$$

При

$$\alpha \mu_c = 2,8 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 0,7 \cdot 10^{-3}, \quad \eta_1 = 0,54.$$

Вихідна суміш:

$$t = 79^\circ\text{C}; \quad \mu_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{CH}_3\text{OH}} = 133322 \text{ Па};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 42663 \text{ Па};$$

$$\lg \mu_c = 0,233 \cdot \lg 0,28 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,233) \cdot \lg 0,36 \cdot 10^{-3} = -3,469;$$

$$\mu_c = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\alpha_2 = \frac{133322}{42663} = 3,125.$$

При

$$\alpha \mu_c = 3,125 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3}, \quad \eta_2 = 0,51.$$

					ЛН71мл.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84



Суміш верхньої частини колони:

$$t = 65^{\circ}\text{C}; \quad \mu_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{CH}_3\text{OH}} = 86659 \text{ Па};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 25331 \text{ Па};$$

$$\lg \mu_c = 0,948 \cdot \lg 0,33 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,948) \cdot \lg 0,45 \cdot 10^{-3} = -3,475;$$

$$\mu_c = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\alpha_3 = \frac{86659}{25331} = 3,42.$$

При

$$\alpha \mu_c = 3,42 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3} = 1,16 \cdot 10^{-3}, \quad \eta_3 = 0,49.$$

Таким чином середній коефіцієнт корисної дії тарілки:

$$\eta_T = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = \frac{0,54 + 0,51 + 0,49}{3} \approx 0,513.$$

Дійсне число тарілок:

$$N_D = \frac{N_T}{\eta_T} = \frac{6}{0,513} = 12,$$

із яких 8 – у верхній частині колони, а 4 – в нижній.

Об'єми та густини пару та рідини, які проходять через колону.

Кількість пару, який підіймається вгору колони за 1 секунду:

$$G_y = G_D (R + 1) = 0,756 \cdot (2,56 + 1) = 2,69 \text{ кг};$$

Кількість рідини, яка стікає донизу колони за 1 секунду:

у верхній частині колони

$$G_{xв} = G_D \cdot R = 0,756 \cdot 2,56 = 1,94 \text{ кг};$$

у нижній частині колони

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{xn} = G_D \cdot R + G_f = 0,756 \cdot 2,56 + 2,22 = 4,16 \text{ кг.}$$

При заданих концентраціях середній склад метанолу у верхній частині колони:

$$a_{в.с} = \frac{35 + 97}{2} = 66 \% ;$$

середня густина рідини у верхній частині колони:

$$\rho_{xв} = \rho_{CH_3OH} \cdot a_{в.с} + \rho_{H_2O} \cdot (1 - a_{в.с}) = 800 \cdot 0,66 + 1000 \cdot (1 - 0,66) = 868 \text{ кг / м}^3;$$

середня концентрація рідини у нижній частині колони:

$$a_{н.с} = \frac{3 + 35}{2} = 19 \% ;$$

середня густина рідини у нижній частині колони:

$$\rho_{xn} = \rho_{CH_3OH} \cdot a_{н.с} + \rho_{H_2O} \cdot (1 - a_{н.с}) = 800 \cdot 0,19 + 1000 \cdot (1 - 0,19) = 962 \text{ кг / м}^3;$$

середня густина рідини в колоні:

$$\rho_{xc} = \frac{\rho_{xв} + \rho_{xn}}{2} = \frac{868 + 962}{2} \approx 915 \text{ кг / м}^3;$$

середня концентрація пару у верхній частині колони (в молярних долях):

$$y_{в.с} = \frac{0,595 + 0,948}{2} = 0,772;$$

середня густина пару у верхній частині колони при  $t_{cp1} = 75^\circ\text{C}$ :

$$\begin{aligned} \rho_{ув.с} &= \frac{M_{CH_3OH} y_{в.с} + M_{H_2O} (1 - y_{в.с})}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t_{cp1}} = \\ &= \frac{32 \cdot 0,772 + 18 \cdot (1 - 0,772)}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 75} = 1,009 \text{ кг / м}^3; \end{aligned}$$

середня концентрація пару в нижній частині колони (в молярних долях):

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$y_{н.с} = \frac{0,595 + 0,017}{2} = 0,306;$$

середня густина пару у нижній частині колони при  $t_{cp2} = 89^{\circ}\text{C}$ :

$$\begin{aligned}\rho_{yn.c} &= \frac{M_{CH_3OH} y_{н.с} + M_{H_2O} (1 - y_{н.с})}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + t_{cp1}} = \\ &= \frac{32 \cdot 0,306 + 18 \cdot (1 - 0,306)}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 89} = 0,75 \text{ кг} / \text{м}^3;\end{aligned}$$

середня густина пару в колоні:

$$\rho_{yc} = \frac{\rho_{ув.с} + \rho_{yn.c}}{2} = \frac{1,009 + 0,75}{2} \approx 0,88 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

об'ємна швидкість пару в колоні

$$V_y = \frac{G_D (R+1) 22,4 (273 + t)}{M_{cp} \cdot 273} = \frac{0,756 \cdot (2,56 + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + 82)}{34,53 \cdot 273} = 2,27 \text{ м}^3 / \text{с},$$

де  $t = \frac{t_{cp1} + t_{cp2}}{2} = \frac{75 + 89}{2} = 82^{\circ}\text{C}$  – середня температура пару в колоні;  $M_{cp}$  – молекулярна маса пару (по дистилляту):

$$M_{cp} = M_a x_a + M_b x_b = 32 \cdot 0,948 + 18 \cdot 0,233 = 34,53.$$

Максимальна об'ємна швидкість рідини у верхній частині колони на верхній тарілці:

$$V_{xв} = \frac{G_{xв}}{\rho_d} = \frac{1,94}{800} = 2,43 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с},$$

де  $\rho_d = 800 \text{ кг} / \text{м}^3$  – густина рідини, яку приймаємо за густину метанолу.

Максимальна об'ємна швидкість рідини у нижній частині колони на тарілці живлення:

$$V_{xn} = \frac{G_{xn}}{\rho_f} = \frac{4,16}{930} = 4,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с},$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

де  $\rho_f = \rho_{CH_3OH} a_f + \rho_{H_2O} (1 - a_f) = 800 \cdot 0,35 + 1000 \cdot (1 - 0,35) = 930 \text{ кг} / \text{м}^3$  – густина вихідної суміші.

Розраховуємо діаметр і висоту колони.

Діаметр колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \omega_y}}.$$

Об'ємна швидкість пару в колоні  $V_y = 2,27 \text{ м}^3 / \text{с}$ . Швидкість пару в колоні  $\omega_y$  залежить від типу тарілок та відстані між ними. Приймаємо  $h_{mt} = 600 \text{ мм}$  – відстань між тарілками. При  $\rho_n / \rho_p = 0,88 / 915 = 9,62 \cdot 10^{-4}$  і  $h_{mt} = 600 \text{ мм}$  допустима швидкість пару в колоні  $\omega = 1,3 \text{ м} / \text{с}$ .

Отже:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \omega_y}} = \sqrt{\frac{2,27}{0,785 \cdot 1,3}} = 1,49 \text{ м}.$$

Приймаємо типовий діаметр колони, який дорівнює 1,5 м.

Швидкість пару в колоні:

$$\omega_y = \frac{V_y}{0,785 d^2} = \frac{2,27}{0,785 \cdot (1,5)^2} = 1,29 \text{ м} / \text{с}.$$

Висота тарільчатої частини колони:

$$H_T = h_{mt} (N_D - 1) = 0,6 \cdot (12 - 1) = 6,6 \text{ м}.$$

Загальна висота колони:

$$H_{заг} = h_{mt} (N_D + 1) = 0,6 \cdot (12 + 1) = 7,8 \text{ м}.$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

#### 4.6.1 Конструктивний розрахунок тарілки

Сумарна площа поперечного розрізу всіх парових патрубків повинна скла-  
дати 10 – 20% дійсного розрізу колони (приймаємо 10%) [10]:

$$S_{\Pi} = 0,1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 0,177 \text{ м}^2.$$

Швидкість пару у паровому патрубку ковпачка:

$$\omega_{\Pi} = \frac{\omega_y}{0,1} = \frac{1,29}{0,1} = 12,9 \text{ м / с.}$$

Вибираємо парові патрубки розміром 32×3,5 мм.

Кількість парових патрубків:

$$n = \frac{4V_{сек}}{\omega_{\Pi} \pi d_{\Pi}^2},$$

де  $d_{\Pi}=0,025$  м – діаметр парового патрубку.

Секундна витрата пару в колоні:

$$V_{сек} = V_y = 2,27 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Звідки:

$$n = \frac{4 \cdot 2,27}{12,9 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2} = 359.$$

Діаметр ковпачка (рис. 1) розраховуємо із умови рівності швидкості пару у  
паровому патрубку та кільцевого перерізу:

$$d_K = \sqrt{d_{\Pi}^2 + (d_{\Pi} + 2\delta)^2} = \sqrt{0,025^2 + (0,025 + 2 \cdot 0,0035)^2} = 0,041 \text{ м,}$$

де  $\delta = 0,0035$  м – товщина стінки парового патрубку.

Умова рівності дійсного перерізу патрубку і площі перерізу, через яку про-  
ходить пар у ковпачку:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

$$\frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} = \pi d_{\Pi} h_K,$$

звідки знаходимо висоту ковпачка над паровим патрубком  $h_K$ :

$$h_K = 0,25d_{\Pi} = 0,25 \cdot 0,025 = 0,00625 \text{ м.}$$

Приймаємо розміри прорізів ковпачка:  $b = 0,005 \text{ м}$ ,  $l = 0,04 \text{ м}$ .

Швидкість пару  $\omega_2$  у прорізах ковпачків приймаємо  $4 \text{ м/с}$ .

Знаходимо кількість прорізів  $i$  у ковпачку із рівняння:

$$inbl\omega_2 = V_y,$$

$$i = \frac{V_y}{nbl\omega_2} = \frac{2,27}{359 \cdot 0,005 \cdot 0,04 \cdot 4} = 7,9 \approx 8.$$

Відстань між прорізами:

$$a = \frac{\pi d_K - ib}{i} = \frac{3,14 \cdot 0,041 - 8 \cdot 0,005}{8} = 0,011 \text{ м.}$$

Діаметр переливної трубки:

$$d_{Tp} = \sqrt{\frac{4V_{xh}}{\pi t \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,47 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,15}} = 0,138 \text{ м,}$$

де  $V_{xh}$  – об'єм рідини, яка стікає через переливну трубу у нижній частині колони,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $t$  – прийняте число переливних трубок на тарілці;  $\omega_p$  – прийнята швидкість стікання рідини,  $\text{м/с}$ .

Висота рідини над обрізом зливної труби:

$$h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{V_{xh}}{1,773L}\right)^2}.$$

Так як периметр вільного перерізу переливу:

$$L = t\pi d_{Tp} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,138 = 0,867 \text{ м,}$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

то

$$h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{4,47 \cdot 10^{-3}}{1,773 \cdot 0,867}\right)^2} = 0,02 \text{ м.}$$

Приймаємо рівень рідини на тарілці  $h_T = 0,065 \text{ м}$ , тоді висота переливної труби над тарілкою:

$$h_C = h_T - h_p = 0,065 - 0,02 = 0,045 \text{ м.}$$

Відстань між нижнім обрізом ковпачка і тарілкою:

$$h_{K.T} = h_C - l = 0,045 - 0,04 = 0,005 \text{ м.}$$

Висота ковпачка до прорізів:

$$h_1 = h_{K.T} + 2h_p = 0,00625 + 2 \cdot 0,02 = 0,046 \text{ м.}$$

#### 4.6.2 Тепловий розрахунок ректифікаційної колони

Кількість теплоти, яку необхідно подавати до кубу колони, визначають із рівняння теплового балансу [10]:

$$Q_K = Q_D + G_D c_D t_D + G_W c_W t_W - G_f c_f t_f + Q_{\text{впр}}.$$

Значення теплоємностей  $c_f, c_D, c_W$  знаходимо за формулою:

$$c = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n,$$

де  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – теплоємності компонентів при температурах суміші;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – масові частки компонентів.

Теплоємності метанолу  $c_1$  при температурах 65, 79, 99°C відповідно дорівнюють 3140, 3056, 2952 Дж / (кг · °C); для води при тих самих температурах приблизно постійна і дорівнює 4166 Дж / (кг · °C).

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді:

$$c_D = 3140 \cdot 0,97 + 4166 \cdot 0,03 = 3170,78 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$c_W = 2952 \cdot 0,03 + 4166 \cdot 0,97 = 4129,58 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$c_f = 3056 \cdot 0,35 + 4166 \cdot 0,65 = 3777,5 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

Кількість теплоти, яку забирає вода у дефлегматорі:

$$Q_D = G_D (1 + R) r = 0,756 \cdot (1 + 2,56) \cdot 1110 \cdot 10^3 = 2987410 \text{ Вт},$$

де  $r = 1110 \cdot 10^3 \text{ Дж} / \text{кг}$  – теплота конденсації по метанолу.

Витрати тепла у кубі колони з урахуванням втрат теплоти:

$$Q_K = 2987410 + 0,756 \cdot 3170,78 \cdot 65 + 1,464 \cdot 4129,58 \cdot 99 + \\ + 2,22 \cdot 3777,5 \cdot 79 + 12109,6 = 4416354,5 \text{ Вт}.$$

Витрати гріючого пару із  $p=4$  ата і вологістю 5%:

$$G_{\Pi} = \frac{4416354,5}{2141 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 2,17 \text{ кг} / \text{с}.$$

Витрати води у дефлегматорі при нагріванні її на 20 градусів:

$$G_B = \frac{2987410}{4166 \cdot 20} = 35,86 \text{ кг} / \text{с}.$$

Витрати води у холодильнику дистиляту:

$$G'_B = \frac{0,756 \cdot 3170,78 \cdot (65 - 30)}{4166 \cdot 20} = 1,01 \text{ кг} / \text{с}.$$

Загальні витрати води 36,87 кг/с.



#### 4.6.3 Теплова ізоляція ректифікаційної колони

При розрахунку допустимих теплових втрат у навколишнє середовище за рахунок конвекції приймаємо, що колона знаходиться в приміщенні, покрита азбестовою ізоляцією  $\lambda_{iz} = 0,151 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  із температурою зовнішньої стінки  $t_3 = 40^\circ\text{C}$ , а середня температура навколишнього середовища  $t_{nc} = 14^\circ\text{C}$  [10].

Загальні втрати тепла:

$$Q_{\Pi} = \alpha F (t_3 - t_{nc}) = \alpha F \Delta t,$$

де  $\alpha$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \Delta t.$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі, поверхню теплообміну та втрати теплоти в навколишнє середовище:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot (40 - 14) = 11,56 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$F = \pi d H + 2 \cdot 0,785 d^2 = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 7,8 + 2 \cdot 0,785 \cdot 1,5^2 = 40,29 \text{ м}^2;$$

$$Q_{втр} = 11,56 \cdot 40,29 \cdot (40 - 14) = 12109,6 \text{ Вт}.$$

Кількість теплоти, яка передається теплопровідністю ізоляції:

$$Q_{втр} = q_L L = \frac{\lambda_{iz}}{\delta_{iz}} \cdot \pi d_{из.ср} L (t_{вн} - t_3).$$

Де  $d_{из.ср}$  – залежить від визначеної товщини ізоляції:

$$\frac{\delta_{из}}{d_{из.ср}} = \frac{\lambda_{из} \pi (t_{вн} - t_3)}{q_L},$$

де  $q_L = \frac{Q_{втр}}{L}$  – граничні теплові втрати на 1 м довжини циліндричної поверхні, Вт/м.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовна висота поверхні ізоляції:

$$L = \frac{F}{\pi d} = \frac{40,29}{3,14 \cdot 1,5} = 8,55 \text{ м.}$$

Отже

$$q_L = \frac{12109,6}{8,55} = 1416,3 \text{ Вт / м.}$$

Приймаємо  $t_{\text{вн}} = 60^\circ\text{C}$ , замінивши ліву частину рівняння на  $A$ :

$$A = \frac{0,151 \cdot 3,14 \cdot (60 - 40)}{1416,3} = 0,0067.$$

При  $A=0,0067$ ,  $\frac{d_{i3.3}}{d_{i3.вн}} = 1,0195$ .

Визначаємо товщину ізоляції:

$$\delta_{i3} = \frac{d_{i3.3} - d_{i3.вн}}{2} = \frac{d_{i3.вн}}{2} \left( \frac{d_{i3.3}}{d_{i3.вн}} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot (1,0195 - 1) = 0,015 \text{ м.}$$

Виходячи із спрощеного співвідношення (для плоскої стінки):

$$Q_{n.ст} = \frac{\lambda_{i3}}{\delta_{i3}} F (t_{\text{вн}} - t_3),$$

то

$$\delta_{i3} = \frac{\lambda_{i3} F (t_{\text{вн}} - t_3)}{Q_{\text{втр}}} = \frac{0,151 \cdot 40,29 \cdot (60 - 40)}{12109,6} = 0,01 \text{ м.}$$

Перевіряємо температуру внутрішньої поверхні ізоляції:

$$\alpha (t_3 - t_{\text{вн}}) = \frac{\lambda_{i3}}{\delta_{i3}} (t_{\text{вн}} - t_3),$$

звідки

$$t_{\text{вн}} = t_3 + \frac{\alpha (t_3 - t_{\text{вн}}) \delta_{i3}}{\lambda_{i3}} = 40 + \frac{11,56 \cdot (40 - 14) \cdot 0,01}{0,151} = 59,9^\circ\text{C}.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розбіжність:  $60 - 59,9 = 0,1^{\circ}\text{C} < 1^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.7 Гідравлічний розрахунок ректифікаційної колони

Гідравлічний опір колони [10]:

$$\Delta p_K = N_T \Delta p,$$

де  $N_T$  – число тарілок;  $\Delta p$  – гідравлічний опір тарілки,  $\text{H} / \text{м}^2$ .

Гідравлічний опір ковпачкової тарілки:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4,$$

де  $\Delta p_1$  – опір сухої тарілки при повністю відкритих прорізах,  $\text{H} / \text{м}^2$ ;  $\Delta p_2$  – опір, обумовлений силами поверхневого натягу,  $\text{H} / \text{м}^2$ ;  $\Delta p_3$  – гідравлічний тиск стовпа при відкритих прорізах,  $\text{H} / \text{м}^2$ ;  $\Delta p_4$  – статичний тиск стовпа рідини над верхньою прорізою,  $\text{H} / \text{м}^2$ .

Знаходимо значення кожного із складових  $\Delta p$ .

$$\Delta p_1 = \xi \frac{\rho_{\text{уср}} \omega_2^2}{2} = 1,75 \cdot \frac{0,9 \cdot 4^2}{2} = 12,6 \text{ H} / \text{м}^2,$$

де  $\xi = 1,75$  – прийняте значення коефіцієнта опору;  $\rho_{\text{уср}} = 0,9$  – середня густина пару в колоні,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ;  $\omega_2 = 4$  – швидкість пару у прорізах ковпачків,  $\text{м} / \text{с}$ .

$$\Delta p_2 = 2\sigma \left( \frac{1}{l} + \frac{1}{b} \right),$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг,  $\text{кг} / \text{с}^2$ ;  $l$  – висота прорізі,  $\text{м}$ ;  $b$  – ширина прорізі,  $\text{м}$ .

Для води:

$$\sigma_{\text{H}_2\text{O}}^{100^{\circ}} = 58,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{с}^2.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для метанолу:

$$\sigma_{CH_3OH}^{20^\circ} = 22,6 \cdot 10^{-3} \text{ кгс / см}^2.$$

Для суміші:

$$\sigma = \frac{(58,9 + 22,6) \cdot 10^{-3}}{2} = 40,75 \cdot 10^{-3} \text{ кгс / см}^2.$$

$$\Delta p_2 = 2 \cdot 40,75 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,005} \right) = 18,34 \text{ Н / м}^2.$$

$$\Delta p_3 + \Delta p_4 = \rho_{xc} g (0,5l + h_p) = 915 \cdot 9,81 \cdot (0,5 \cdot 0,04 + 0,02) = 359,1 \text{ Н / м}^2.$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta p = 12,6 + 18,34 + 359,1 = 390 \text{ Н / м}^2.$$

Загальний опір всіх 12 тарілок:

$$\Delta p_K = N_T \Delta p = 12 \cdot 390 = 4680 \text{ Н / м}^2.$$

Мінімальна допустима відстань між тарілками, які можуть забезпечити роботу гідравлічного затвору, повинна задовольняти умову:

$$h_{м.т} > h_{пер} \approx 1,8 \frac{\Delta p}{\rho_{xc} g},$$

або

$$0,6 > 1,8 \cdot \frac{390}{868 \cdot 9,81} = 0,082.$$

Умова виконується, забезпечуючи нормальну роботу гідравлічного затвору в переливному пристрої тарілки.

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.8 Розрахунок товщини стінки обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску. Матеріал стінки обичайки – нержавіюча сталь 12Х18Н10Т.

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр колони $D$ , м	1,5.
Висота колони $H$ , м	12,074.
Температура робочого середовища $t$ , К	337.
Тиск в апараті $p$ , МПа	0,1.
Термін служби апарата $\tau$ , років	15.
Швидкість корозії, $\Pi$ , мм/рік	0,3.
Матеріал корпусу	12Х18Н10Т.

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску проводимо за методикою згідно з [11].

Схему до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки зображено на рисунку 4.15.

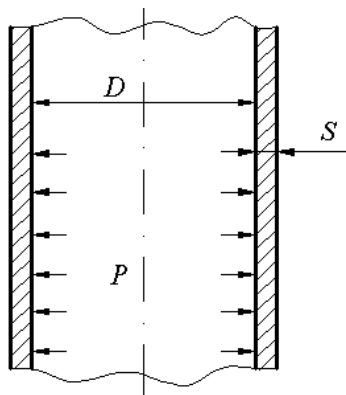


Рисунок 4.15 – Схема до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки

Розрахункова товщина:

$$s_R = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi p} = \frac{0,1 \cdot 1,5}{2 \cdot 172 \cdot 1 - 0,1} = 0,00044 \text{ м},$$

де  $\varphi = 1$  - коефіцієнт міцності зварного шва для автоматичної дугової електродуговой розварки.

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + C + C_0 = 0,44 + 6 + 0,205 = 6,65 \text{ мм},$$

де  $C_1$  – додаток до розрахункової товщини, що враховує корозію та ерозію, мм;

$C_2 = 0$  – технологічний додаток до розрахункової товщини, що враховує можливе стоншення листа метала при таких операціях: вигин, штампування;

$C_3 = 0$  – додаток до розрахункової товщини, що враховує відємний допуск;

$C_0$  - додаток до розрахункової товщини, який іде на округлення до найбільшої стандартної товщини листа.

$$C_1 = 6 \text{ мм}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 6 + 0 + 0 = 6 \text{ мм}.$$

Для розрахунку ректифікаційної колони, приймаємо товщину листа  $S = 12$  мм, оскільки колона сприймає вітрові навантаження, а також корозійну дію розчинників.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул:

$$\frac{S-C}{D} = \frac{0,012-0,006}{1} = 0,0075 < 0,1.$$

Умова застосування розрахункових формул виконується.

Максимальний тиск, що може витримати стінка при виконавчій товщині:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(S-C)}{(D+S-C)} = \frac{(2 \cdot 172 \cdot 1 \cdot (0,012-0,006))}{(1,5+0,012-0,006)} = 1,37 \text{ МПа}.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова міцності:

$$p_R < [p]$$

$$0,1 < 1,37$$

Умова виконується.

У результаті проведеного розрахунку було визначено: товщину стінки циліндричної обичайки  $S=12$  мм, додаток до товщини  $C_1=6$  мм і допустимий тиск 1,37 МПа.

#### 4.9 Розрахунок еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичного днища і перевірка її на міцність.

Вихідні дані до розрахунку:

- матеріал днища	12X18H10T;
- діаметр колони $D$ , м	1,5;
- розрахунковий тиск $p_R$ , МПа	0,1;
- розрахункова температура $t_R$ , К	337;
- допустиме напруження $[\sigma]$ , МПа	172;
- додаток до товщини $s$ , мм	6.

Розрахунок товщини стінки еліптичного днища під дією внутрішнього тиску проводимо за методикою згідно з [11].

Схема до розрахунку еліптичного днища представлена на рисунку 4.16.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

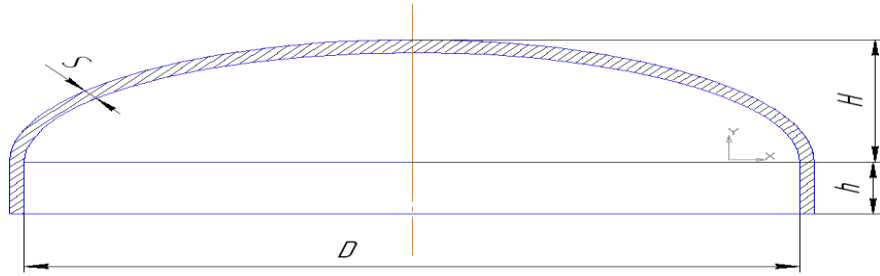


Рисунок 4.16 – Схема до розрахунку еліптичного днища

Товщина стінки днища:

$$s_R = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi - 0,5p} = \frac{0,1 \cdot 1,5}{2 \cdot 172 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 0,00044 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S_D = s_R + C + C_0 = 0,44 + 6 + 0,5 = 6,94 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_D = 12 \text{ мм.}$

Висота еліптичної частини днища:

$$H = 0,25D = 0,25 \cdot 1,5 = 0,375 \text{ м.}$$

Висота циліндричної частини днища:

$$h = 2S_D + 5 = 2 \cdot 12 + 5 = 29 \text{ мм.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$0,002 < \frac{S-C}{D} = \frac{0,012 - 0,006}{1,5} = 0,004 < 0,1$$

$$0,2 < \frac{H}{D} = \frac{0,375}{1,5} = 0,25 < 0,5.$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Допустимий тиск, який може витримувати стінка днища:

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100



$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi(S_D - C)}{D + 0,5(S_D - C)} = \frac{(2 \cdot 172 \cdot 1 \cdot (0,012 - 0,006))}{1,5 + 0,5 \cdot (0,012 - 0,006)} = 1,37 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності:

$$p_R < [p]$$

$$0,1 < 1,37$$

Умова міцності виконується.

У результаті проведеного розрахунку визначено: товщину стінки днища  $S_D = 12$  мм, висоту еліптичної частини днища  $H = 0,375$  м, висоту циліндричної частини днища  $h = 29$  мм і допустимий тиск  $[p] = 1,37$  МПа.

#### 4.10 Розрахунок штуцерів

Мета: обрати стандартні штуцери для входу та виходу сировини за тиском та умовним діаметром.

Схема до розрахунку діаметра штуцерів представлена на рисунку 4.17.

Вихідні дані до розрахунку:

Витрати суміші $G_c$ , кг/с	2,22.
Швидкість суміші $\omega_c$ , м/с	2.
Середня густина суміші $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	458.
Витрати рідини $G_x$ , кг/с	6,1.
Швидкість рідини $\omega_x$ , м/с	2.
Середня густина рідини $\rho_x$ , кг/м <sup>3</sup>	915.
Витрати пару $G_y$ , кг/с	2,69.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість пару  $\omega_y$ , м/с

1,29.

Середня густина пару  $\rho_y$ , кг/м<sup>3</sup>

0,88.

Розрахунок проводимо за [13].

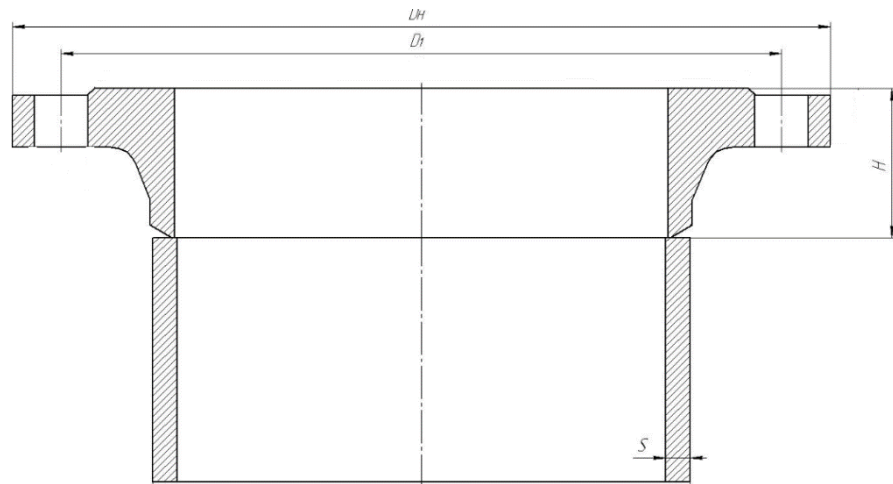


Рисунок 4.17 – Розрахункова схема штуцера

Формула для визначення діаметрів штуцерів:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

Визначення діаметра штуцера для входу вихідної суміші:

Приймаємо  $\omega_c = 2$  м/с

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,22}{3,14 \cdot 458 \cdot 2}} = 0,056 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [13]:  $d_1 = 80$  мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу парів дистилату:

Приймаємо  $\omega = 35$  м/с

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,69}{3,14 \cdot 0,88 \cdot 35}} = 0,333 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [1]:  $d_2 = 300$  мм.

Визначення діаметра штуцера для подачі зрошення:

Приймаємо  $\omega_x = 2 \text{ м/с}$ .

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,1}{3,14 \cdot 915 \cdot 2}} = 0,065 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [13]:  $d_3 = 80 \text{ мм}$ .

Визначення діаметра штуцера для виходу кубової рідини:

Приймаємо  $\omega = 0,5 \text{ м/с}$ .

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,1}{3,14 \cdot 915 \cdot 0,5}} = 0,13 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [13]:  $d_4 = 150 \text{ мм}$ .

Визначення діаметра штуцера для повернення парів кубової рідини:

Приймаємо  $\omega = 35 \text{ м/с}$ .

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,69}{3,14 \cdot 1,95 \cdot 35}} = 0,224 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [13]:  $d_5 = 300 \text{ мм}$ .

Результати розрахунків занесені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунку штуцерів

Призначення штуцера	Діаметр D <sub>N</sub> , мм
Вхід сировини	80
Вихід парів дистиляту	300
Подача зрошення	80
Вихід парів кубової рідини	300
Вихід продукту з куба	150

Висновок: за розрахунками було обрано штуцери, які забезпечать необхідні швидкості руху теплоносіїв.

#### 4.11 Перевірочний розрахунок фланцевих з'єднань

Метою розрахунку є визначення навантаження на кріпильні деталі, визначення діаметру та товщини фланця, кількості та діаметру болтів для випадку, коли робочий тиск  $P > 0,1$  МПа. В інших випадках вибираються стандартні фланці.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.18.

Згідно заданих умов підходить приварний фланець без втулки з гладкою ущільнювальною поверхнею за ГОСТ 28759.2-90.

По таблиці 9 вибираємо болти М20, тобто  $d_b = 0,020$  м.

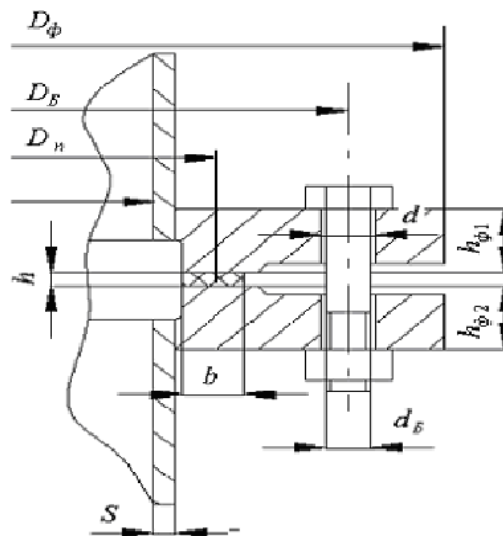


Рисунок 4.18 – Розрахункова схема

Вихідні дані:

Внутрішній надлишковий тиск, МПа, $p$	0,1.
Діаметр відпарної ректифікаційної колони, м, $D$	1,5.
Зовнішній діаметр прокладки, м, $D_n$	1,55.
Зовнішній діаметр фланця м, $D_\phi$	1,64.

Діаметр болтового кола, м, $D_B$	1,6.
Товщина фланця, м, $h_{\phi 1}$	0,050.
Товщина фланця, м, $h_{\phi 2}$	0,048.
Товщина стінки апарата, м, $S_0$	0,012.
Ширина прокладки, м, $b$	0,014.
Товщина прокладки, м, $h$	0,002.
Коефіцієнт, $m$	2,5.
Допустиме питоме навантаження зминання, МПа, $[q]$	130.
Мінімальний тиск, МПа, $q$	20.
Модуль пружності, МПа, $E_{\pi}$	2000.
Допустиме напруження матеріалу фланців (сталь 12X18H10T) при температурах 20°C, МПа, $[\sigma_{\phi 1}]^{20}, [\sigma_{\phi 2}]^{20}$	147.
Допустиме напруження матеріалу фланців (сталь 12X18H10T) при температурі 143°C, МПа, $[\sigma_{\phi 1}]^t, [\sigma_{\phi 2}]^t$	135.
Кількість болтів, $Z_B$	44.
Модуль пружності матеріалу фланців (сталь 12X18H10T) при температурі 20°C, МПа, $E_{\phi 1}^{20}, E_{\phi 2}^{20}$	$1,99 \cdot 10^5$ .
Коефіцієнт відносного лінійного розширення матеріалу фланців (сталь 12X18H10T) при температурі 143°C, $K^{-1}, \alpha_{\phi 1}^t, \alpha_{\phi 2}^t$	$12,4 \cdot 10^{-6}$
Зовнішній діаметр різьби болтів, м, $d_B$	0,022.

Внутрішній діаметр різьби болтів, м,  $d_o$

0,0173. До-

пустиме напруження матеріалу болтів (сталь 35X) при температурі 20°C, МПа,  $[\sigma_B]^{20}$  230.

Допустиме напруження матеріалу болтів (сталь 35X) при температурі 139°C, МПа,  $[\sigma_B]^t$  227.

Модуль пружності матеріалу болтів (сталь 35X) при температурі 139°C, МПа,  $E_B^t$   $1,86 \cdot 10^5$ .

Додаток до розрахункових товщин, м,  $C$  0,001.

Коефіцієнт тертя,  $f_1$  0,1.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [8].

Розрахунок допоміжних величин

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо  $\beta=1$ .

Середній діаметр прокладки, м:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,55 - 0,014 = 1,536, \text{ м.}$$

Ефективна ширина прокладки, м:

$$\text{при } b \leq 0,015 \text{ м } b_E = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,014 = 0,007, \text{ м.}$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\Phi} = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{1,64}{1,5} = 1,14.$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\Phi 1} = \frac{h_{\Phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0,456,$$

$$\lambda_{\Phi 2} = \frac{h_{\Phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 0,438.$$

Поправковий коефіцієнт для фланців:

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg(K_{\phi}) = 1,28 \cdot \lg(1,14) = 0,073,$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi}+1}{K_{\phi}-1} = \frac{1,14+1}{1,14-1} = 15,286.$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу  $S_0$  приймаємо  $\psi_3 = 1$ .

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,05}{0,012} = 4,167,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,048}{0,012} = 4.$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(K_{\phi})) - 1}{(1,55 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,14^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,14)) - 1}{(1,55 + 1,945 \cdot 1,14^2) \cdot (1,14 - 1)} = 1,861.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = 0,518,$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = 0,539.$$

Кутова піддатливість фланців,  $1/(\text{МН} \cdot \text{м})$ :

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = 0,177,$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = 0,184.$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання, м:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,05 + 0,048 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,106, \text{ м.}$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:,  $\text{м/МН}$ :

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,536 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 2,195 \cdot 10^{-5}, \text{ м/МН.}$$

Площа поперечного перерізу болта,  $\text{м}^2$ :

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,0173^2 = 2,35 \cdot 10^{-4}, \text{ м.}$$

Лінійна піддатливість болтів, м/МН:

$$y_B = \frac{L_B}{E_B \cdot f_B \cdot Z_B} = \frac{0,106}{1,86 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 35} = 6,904 \cdot 10^{-5}, \text{ м/МН.}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання, МН/м:

$$A_\phi = [y_\Pi + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})]^{-1} = 170,377, \text{ МН/м.}$$

Параметри жорсткості фланців, 1/МН:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,177 \cdot (1,6 - 1,5 - 0,012) = \\ = 0,016, \text{ МН/м.}$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,184 \cdot (1,6 - 1,5 - 0,012) = \\ = 0,016 \text{ МН/м.}$$

$$\gamma = A_\phi \cdot y_B = 170,377 \cdot 6,904 \cdot 10^{-5} = 0,012.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_\phi = A_\phi \cdot [y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})] = 0,098.$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

Рівнодіюча внутрішнього тиску, МН:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,536^2 \cdot 0,1013 = 0,093, \text{ МН.}$$

Реакція прокладки у робочих умовах, МН:

$$R_\Pi = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot t \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,536 \cdot 0,006 \cdot 0,1013 = \\ = 0,013 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, МН:

$$\gamma \cdot Z_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_\phi^t \cdot t_\phi - \alpha_B^t \cdot t_B) = -1,289 \cdot 10^{-3}, \text{ тому } Q_{t\phi} = 0, \text{ МН.}$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108



Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,536 \cdot 0,006 \cdot 20 = 0,456 ,$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_d + P) + 0,053 = 0,227 \cdot (0,093 + 0,1013) + 0,053 = \\ = 0,032 ,$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 35 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,757 .$$

Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$p \leq 0,1 \text{ МПа, тому } P_{Б1} = \max\{P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}\} = \{0,456; 0,032; 0,757\} = \\ = 0,757 \text{ МН.}$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} = \frac{0,757}{3,14 \cdot 1,036 \cdot 0,02} = 16,603 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа} .$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов, МН:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = 0,757 + (1 - 0,227) \cdot \\ (0,093 + 0,1013) + 0 = 0,939 , \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження а болти, МН:

$$P_{Б\phi} = \max\{P_{Б1}; P_{Б2}\} = \{0,757; 0,939\} = 0,939 , \text{ МН.}$$

Напруження в болтах за умов монтажу, МПа:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{Б1}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,757}{35 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 92 , \text{ МПа.}$$

Знаходимо напруження розтягу в болтах.

Напруження розтягування в болтах за робочих умов, МПа:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{Б2}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,939}{35 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 114,2 , \text{ МПа.}$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок, МН·м:

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{\text{Бф}}}{Z_{\text{Б}}} \cdot d_{\text{Б}} = 0,1 \cdot \frac{0,939}{35} \cdot 0,02 = 5,367 \cdot 10^{-5} \text{ , МН}\cdot\text{м.}$$

Дотичне напруження в болтах, МПа:

$$\tau_{\text{Б}} = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{5,367 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,0173^3} = 51,83 \text{ , МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах, МПа:

$$\sigma_{\text{Б}}^{20} = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2} = \sqrt{92^2 + 3 \cdot 51,83^2} = 128,5 \text{ , МПа.}$$

$$\sigma_{\text{Б}}^t = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{\text{Б}}^2} = \sqrt{114,2^2 + 3 \cdot 51,83^2} = 145,3 \text{ , МПа.}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_{\text{Б}}^{20} = 128,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^{20} = 230 \text{ МПа} ;$$

$$\sigma_{\text{Б}}^t = 145,3 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^t = 227 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу, МН·м:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{\text{Бф}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) = 0,5 \cdot 0,757 \cdot (1,6 - 1,536) = 0,024 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов, МН·м:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{\text{Б2}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) + Q_{\text{д}} \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_o) \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t}] = 0,5 \cdot [0,757 \cdot (1,6 - 1,536) + 0,093 \cdot (1,536 - 1,5 - 0,012) \cdot \frac{147}{135}] = 0,032 \text{ , МН}\cdot\text{м.}$$

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця, МН·м:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} = \{0,024 ; 0,032\} = 0,032 \text{ , МН}\cdot\text{м.}$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальні напруження в перерізі  $S_o$  фланців від дії вигинаючого моменту  $M_{0\phi}$ , МПа:

$$\sigma_{0\phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 257,025, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{0\phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 2}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 267,6, \text{ МПа.}$$

де  $D^* = D = 1,5$  м, якщо  $D = 1,5 \geq 20 \cdot S_o = 20 \cdot 0,012 = 0,24$ .

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{0\phi}$ , МПа:

$$\sigma_{к\phi 1} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 1}^2} = 53,1, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{к\phi 2} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} = 53,066, \text{ МПа.}$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску  $p$ :

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,5}{2 \cdot (0,012 - 0,001)} = 5,$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,5}{4 \cdot (0,012 - 0,001)} = 2,5.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців, МПа:

$$\begin{aligned} \sigma_{E\phi 1} &= \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} = \\ &= \sqrt{(257,617 + 2,5)^2 + 5 - (243,617 + 2,5) \cdot 5} = 257,1 \text{ МПа,} \end{aligned}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}} = 267,6 \text{ МПа.}$$

Умова міцності:

$$\begin{aligned} [\sigma_{\phi 1}^{S_o}] &= [\sigma_{\phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 1,86 \cdot 10^5 = 558, \\ &\text{МПа.} \end{aligned}$$

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

$$\sigma_{\text{Еф1}} = 257,1 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{ф1}}^{S_o}] \cdot \varphi = 1 \cdot 558 = 558 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{Еф2}} = 267,6 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{ф2}}^{S_o}] \cdot \varphi = 1 \cdot 558 = 558 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

При  $D = 1,5 \leq 2 \text{ м}$   $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D}{E_{\text{ф1}}^t \cdot h_{\text{ф1}}} = \frac{53,092 \cdot 1,5}{1,86 \cdot 10^5 \cdot 0,05} = 5,71 \cdot 10^{-3} < [\theta] = 0,009$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D}{E_{\text{ф2}}^t \cdot h_{\text{ф2}}} = \frac{53,066 \cdot 1,5}{1,86 \cdot 10^5 \cdot 0,048} = 5,94 \cdot 10^{-3} < [\theta] = 0,009$$

Умови герметичності виконуються.

Приймаємо фланець без втулки приварний з гладкою ущільнювальною поверхнею за ГОСТ 28759.2-90 діаметром 1,64 м.

#### 4.12 Визначення вітрового навантаження на колонний апарат

Метою розрахунку є визначення вітрового навантаження, що діє на відпарну ректифікаційну колону в робочих умовах та перевірка умов міцності і стійкості апарата з урахуванням вітрового навантаження.

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр апарата $D$ , м	1,5.
Висота апарата $H$ , м	12,074.
Товщина стінки корпусу $S$ , м	0,012.
Додаток до розрахункової товщини $C$ , м	0,006.
Вага апарата $G$ , кН	53710.

Матеріал корпусу

12X18H10T.

Розрахункова температура  $t_R$ , К

355.

Район встановлення колони

м. Київ.

Схема дії вітрового навантаження зображено на рисунку 4.19. Апарат розглядаємо у вигляді вертикального стрижня з пружним зацмленням. Вітрове навантаження змінюється по висоті апарата, тому стрижень умовно ділимо на 5 частини з висотою  $h_i = 2,4$  м кожна. Вага кожної з них  $G_i = G/5 = 53710/5 = 10742$  Н. Вважаємо, що центр ваги розташований посередині ділянки. Відстань  $x_i$  до центра ваги  $x_1 = 1,2$  м,  $x_2 = 3,6$  м,  $x_3 = 6$  м,  $x_4 = 8,4$  м,  $x_5 = 10,8$ .

Розрахунок проводимо згідно з [12].

Момент інерції перерізу фундаменту:  $6,083 \text{ м}^4$

де  $D_K$  - діаметр фундаментного кільця опори.

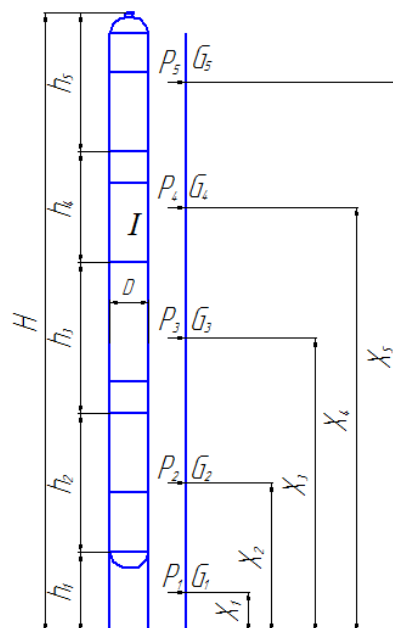


Рисунок 4.19 – Схема дії вітрового навантаження.

Момент інерції основного верхнього металічного перерізу колони:

$$I_I = \frac{\pi}{64} [(D_I + 2s_I - 2c)^4 - D^4] = \frac{3,14}{64[(1,5 + 2 \cdot 0,012 - 2 \cdot 0,006)^4 - 1^4]} = 0,0024 \text{ м}^4.$$

$I$  – момент перерізу частин колони, які відрізняються діаметрами або товщинами стінок. В даному випадку  $D = \text{const}$  і  $s = \text{const}$ .

Період основного тону власних коливань апарата постійного перерізу:

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{4EI_I}{HC_F I_F}} = 0,247 \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,0024}{12,074 \cdot 0,8 \cdot 10^8 \cdot 6,083}} = 0,286 \text{ с},$$

де:

$$T_0 = 1,8H \sqrt{\frac{GH}{gEI_I}} = 1,8 \cdot 7,8 \sqrt{\frac{53710 \cdot 12,074}{9,81 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,0024}} = 0,247 \text{ с},$$

де  $C_F$  – коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунта, визначається по даним інженерної геології.

Так як  $I = \text{const}$   $\Delta = \frac{1}{3}$ ,  $\lambda = 0$ ,  $\mu = 0$ .

$$\gamma = \frac{2}{H^3} \left( H^3 \cdot \frac{1}{3} \right) = \frac{2}{12,074^3} \left( 12,074^3 \cdot \frac{1}{3} \right) = 0,6667.$$

Коефіцієнт  $\beta_i$  для кожної ділянки визначається за залежністю:

$$\beta_1 = \left( \frac{x_5}{H} \right)^{(1,9-0,375 \frac{x_5}{H})} = \left( \frac{10,8}{12,074} \right)^{(1,9-0,375 \frac{10,8}{12,074})} = 0,848,$$

$\beta_2 = 0,558$ ;  $\beta_3 = 0,305$ ;  $\beta_4 = 0,116$ ;  $\beta_5 = 0,014$ .

Відносні переміщення центрів ваги ділянок:

$$\alpha_1 = \gamma \frac{H}{2EI} \beta_1 + \frac{x_5}{HC_F I_F} =$$

$$= 0,6667 \frac{12,074}{2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,0024} \cdot 0,848 + \frac{10,8}{12,074 \cdot 0,8 \cdot 10^8 \cdot 6,083} = 8,588 \cdot 10^{-9},$$

$$\alpha_2 = 5,868 \cdot 10^{-9}; \alpha_3 = 3,451 \cdot 10^{-9}; \alpha_4 = 1,54 \cdot 10^{-9};$$

$$\alpha_5 = 3,145 \cdot 10^{-10}.$$

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

Коефіцієнт, який враховує зміну швидкісного напору вітру по висоті апарата:

$$\theta_1 = \left(\frac{x_5}{10}\right)^{0,32} = \left(\frac{10,8}{10}\right)^{0,32} = 1,025$$

$$\theta_2=0,946; \theta_3=0,849; \theta_4=0,721; \theta_5=0,507.$$

$$\text{Швидкісний напор вітру } q_0 = 450 \text{ Н/м}^2.$$

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середину  $i$ -ї ділянки :

$$q_{i\text{ ст } 1} = q_0 \cdot \theta_1 \cdot k = 450 \cdot 1,025 \cdot 0,7 = 322,854 \text{ Н/м}^2,$$

де  $k=0,7$  – аеродинамічний коефіцієнт.

$$q_{i\text{ ст } 2}=297,906; \quad q_{i\text{ ст } 3}=267,497; \quad q_{i\text{ ст } 4}=227,158; \quad q_{i\text{ ст } 5}=159,826.$$

Статична складова навантаження на  $i$ - й ділянці:

$$P_{1\text{ ст}} = q_{i\text{ ст } 1} \cdot D_3 \cdot h = 322,854 \cdot 1,5 \cdot 2,4 = 774,85 \text{ Н},$$

де  $D_3$  – зовнішній діаметр колони,

$h$  - висота ділянки.

$$P_{2\text{ ст}}=1430; P_{3\text{ ст}}=1926; P_{4\text{ ст}}=2181; P_{5\text{ ст}}=1918.$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору для середини ділянки:

$$m_1 = 0,6 \cdot \left(\frac{x_5}{10}\right)^{-0,16} = 0,6 \cdot \left(\frac{7,02}{10}\right)^{-0,16} = 0,593,$$

$$m_2=0,617; m_3=0,651; m_4=0,707; m_5=0,842.$$

Приведене відносне прискорення центра ваги  $i$ -ї ділянки:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \alpha_1 \cdot \frac{\sum \alpha_1 \cdot m_1 \cdot P_{1\text{ ст}}}{\sum \alpha_1^2 \cdot G_1} \\ &= 8,588 \cdot 10^{-9} \frac{\sum 8,588 \cdot 10^{-9} \cdot 0,593 \cdot 774,85}{\sum (8,588 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 10742} = 0,043, \end{aligned}$$

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_2=0,041; \eta_3=0,039; \eta_4=0,036; \eta_5=0,03.$$

Безрозмірний параметр

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{840} = \frac{0,286 \cdot \sqrt{450}}{840} = 0,00723.$$

Коефіцієнт, який встановлює кореляцію пульсації швидкості вітру  $v = 0,7$ .

Коефіцієнт динамічності:

$$\xi = 1,29 + 15,47 \cdot \varepsilon = 1,29 + 15,47 \cdot 0,00723 = 1,402.$$

Динамічна складова вітрового навантаження:

$$P_{1\text{ dyn}} = v \xi \eta_1 G_1 = 0,7 \cdot 1,402 \cdot 0,043 \cdot 10742 = 450,61 \text{ Н},$$

$$P_{2\text{ dyn}} = 865,7; P_{3\text{ dyn}} = 1230; P_{4\text{ dyn}} = 1512; P_{5\text{ dyn}} = 1585.$$

Вітрове навантаження на  $i$ -й ділянці:

$$P_1 = P_{1\text{ st}} + P_{1\text{ dyn}} = 774,85 + 450,61 = 1225 \text{ Н},$$

$$P_2 = 2296; P_3 = 3156; P_4 = 3693; P_5 = 3503.$$

Вигинаючий момент:

$$\begin{aligned} M_v = & \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - x_0) = 3503 \cdot (7,02 - 0,78) + \\ & + 3693 \cdot (5,46 - 0,78) + 3156 \cdot (3,9 - 0,78) + 2296 \cdot (2,34 - 0,78) + \\ & + 1225 \cdot (0,78 - 0,78) = 80880 \text{ Н} \end{aligned}$$

Вигинаючий момент від дії вітрового навантаження складає  $M_v = 80880 \text{ Н}$ .  
Аналіз здатності корпусу відпарної ректифікаційної колони витримати дане навантаження проводимо шляхом перевірки міцності корпусу.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



#### 4.13 Вибір опори колонного апарата

Метою даного вибору опори є встановлення відпарного колонного апарата на фундамент, який здійснюємо за двома параметрами: діаметром і вагою апарата.

Опора циліндрична, виконання В. Розрахунок проводимо для робочих умов. Зварний кільцевий шов знаходиться поза зони отвору. Район розташування відпарної ректифікаційної колони тарілчастого типу знаходиться в м. Київ.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.20.

Вихідні дані:

діаметр апарата $D$ , м	1,5;
товщина циліндричної обичайки $S$ , м	0,012;
висота колони $h_k$ , м	7,8;
маса фланців і арматури $M_{фл}$ , кг	400;
густина матеріалу корпусу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7920;
об'єм днища $V_{дн}$ , м <sup>3</sup>	0,1568;
густина рідини при $t = 20$ °С $\rho_v$ , кг/м <sup>3</sup>	868.

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [13].

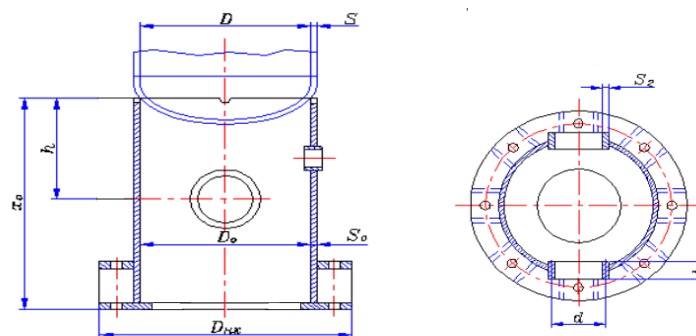


Рисунок 4.20 – Конструкція циліндричної опори для відпарної ректифікаційної колони.

Маса корпусу колони:

$$M_k = h_k \pi D S \rho = 7,8 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 0,012 \cdot 7920 = 3581 \text{ кг}$$

Маса кришки та днища відпарної колони:

$$M_{кр} = M_{дн} = 115,2 \text{ кг.}$$

Маса порожнього апарата:

$$M_{ан} = (M_k + 2 \cdot M_{кр} + M_{фл}) \cdot 1,3 = (3581 + 115,2 \cdot 2 + 400) \cdot 1,3 = 5475 \text{ кг.}$$

Навантаження порожнього апарата:

$$Q_{ан} = M_{ан} g = 5475 \cdot 9,81 = 53710 \text{ Н} = 0,05371 \text{ МН}$$

Об'єм апарата:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_k = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 7,8 = 9,42 \text{ м}^3.$$

Маса води в апараті:

$$M_v = V \rho_v = 9,42 \cdot 998 = 9401 \text{ кг.}$$

Навантаження апарата на опори під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{ан}^u = (M_{ан} + M_v) g = (5475 + 9401) \cdot 9,81 = 145900 \text{ Н} = 0,1459 \text{ МН.}$$

Висновок: виходячи з того, що  $Q_{\max} = Q_{ан}^u = 0,1459 \text{ МН}$ ,  
 $Q_{\min} = Q_{ан} = 0,05371 \text{ МН}$  вибираємо циліндричну опору типу 3 згідно ОСТ 26-467-78 по  $Q_{\min}$ .

					ЛН71мл.065152.000 ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Відповідно до закону України про охорону праці від 20.04.92 для працюючого обслуговуючого персоналу на обладнанні необхідно розробити безпечні умови праці на підприємствах.

1. Машини та механізми, що проектуються, відповідають вимогам безпеки а також санітарії. Жоден зразок розроблюваної машини не був переданий на серійне виготовлення, доки не були дотримані всі вимоги із охорони праці.

2. У відповідності до Закону України “Про охорону праці” виробничі будови, приміщення, обладнання та технологічні процеси мають відповідати певним вимогам, що задовольняють безпечним умовам праці.

3. Згідно теми магістерської дисертації «Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води з розробкою апаратів теплообмінника труба в трубі і ректифікаційної колони», зважаючи на те, що функціонування лінії має певні шкідливі фактори для та життя людини, необхідно щоб дані фактори знаходились під відповідним контролем та стандартами.

Дане обладнання обслуговується оператором, який виконує свої робочі обов'язки в окремому приміщенні, яке має площу  $S = 28 \text{ м}^2$  та об'ємом  $V = 86 \text{ м}^3$ .

При роботі ректифікаційної установки будуть виникати нижче наведені шкідливі і небезпечні виробничі фактори:

- електронебезпека;
- параметри повітря;
- виробничий шум;
- вплив деталей, що рухаються та обертаються;
- промислове освітлення;
- пожежна безпека.

					<i>ЛН71м.065152.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

## Електронебезпека

Устаткування лінії, що розробляється у дисертації знаходиться в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Згідно ПУЕ воно відноситься до приміщень з підвищеною небезпечкою. На пульті управління машиніста напруга  $U = 220\text{В}$ , частота  $f = 50\text{ Гц}$ . Тип електромережі змінний із глухо заземленою нейтралю.

### Заходи захисту для нормального режиму роботи електроустановок:

Забезпечення стабільного використання установки при звичайному робочому процесі забезпечується виконанням таких вимог: на ділянках з відкритим кабелем забезпечити високий рівень ізоляції, заземлення приладів, розташування автоматів живлення в легкій доступності.

Електрична ізоляція – це фізичне покриття проводу діелектриком, за рахунок високого опору якого струм не проникає через ізоляцію.

Огородження можуть бути суцільними, сітчастими або змішаними. Огородження обладнуються кришками, дверцятами або дверима, що замикаються на замок або забезпеченими блокуванням.

Блокування безпеки працює відрізняють за такими факторами: механічні, електромагнітні та електричні.

Блокування електрики здійснюється на установках та стендах, для запобігання виникнення надзвичайних ситуацій. Суть електричного блокування полягає в відключенні електроприладів від подачі струму шляхом вимкнення автоматів. Також проводиться повне заземлення усіх установок.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мала напруга - це номінальна напруга, що не перевищує 42В між фазами та застосовується для зменшення ураження електричним струмом.

Струм який проходить через людину, яка доторкнулася до корпусу пошкодженого устаткування (без заземлення):

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3}} = \frac{220}{5000 + \frac{20000}{3}} = 0,018 \text{ А} = 18 \text{ мА} ,$$

де  $R_{\text{л}}$  – опір тіла людини, який при розрахунках приймається рівним 5000 Ом;  $U_{\text{ф}}$  – фазна напруга, В;  $r$  – опір стікання, Ом.

Такий струм небезпечний для життя людини.

Тому необхідно розрахунки захисного заземлення.

Загальний опір:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_0}{\sqrt{n}} = 3,5 \text{ Ом}$$

Опір штучного заземлювача:

$$R = \frac{R_e : R_0}{R_e - R_0} = 4 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість паралельно розташованих заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{R \cdot \eta} = 6$$

Загальний опір полоси та штирів приймається 5 Ом.

В якості заземлювачів використовують електроди діаметром 12 мм, довжиною 3 м та в кількості 6 штук.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При заземленні устаткування струм, що проходить через людину буде дорівнювати :

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3} + \frac{R_{\text{л}} \cdot r}{3 \cdot R_3}} = \frac{220}{5000 + \frac{20000}{3} + \frac{1000 \cdot 20000}{3 \cdot 4}} = 0,00013 \text{ A} = 0,13 \text{ mA} ,$$

де  $R_3$  – опір заземлення,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{заг}} = 3,5 \text{ Ом}$

Такий струм безпечний для людини і відповідає ГОСТ 12.1.038-82.

Для запобігання травм електрострумом було впроваджено наступні заходи безпеки:

- рубильники включення установки знаходяться у спец-шафі;
- спеціальні кабелі, які розміщують у захисні металеві рукава;
- передбачене спеціальне захисне вимкнення установки у випадку ураження людини високою напругою;
- на панелі керування передбачено лампи вмикання та вимикання установки;
- вузли установки, що можуть потрапити під напругу обладнані затискачами для підключення до заземлення.

Для захисту від іскрових розрядів статичного струму проектом передбачено відвід зарядів за рахунок приєднання установки, комунікацій, в яких статичний струм виникає та може накопичуватися, до заземляючого пристрою.

Для передбачення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з електробезпекою машини оснащена пультом та автоматикою аварійного вимкнення живлення, також оператор працює на ізолюючому від фундаменту помості.

Робота обладнання лінії не утворює специфічних електромагнітних полів.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Параметри повітря робочої зони

Робота операторів даного виробництва відноситься до легкої фізичної роботи категорії І б. Енерговитрати за таких умов праці складають 121 – 150 ккал/год.

Дані значення параметрів повітря робочої зони забезпечуються:

- в холодну пору року підігрів приміщення батареями з теплоносіями води, що підтримує постійну температуру в приміщенні не нижче 15°C;
- в теплу пору року – вентиляцією через верхні пройоми.

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів повітря робочої зони: температури, швидкості руху повітря, відносної вологості. Хімічний склад повітря: ГДК 1 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Необхідні параметри повітря забезпечуються системою проточно-витяжною вентиляцією. Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042 99. Параметри повітря робочої зони наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Параметри повітря робочої зони.

Параметри	Оптимальні умови	
	Теплий період	Холодний період
Температура t, °C	22 – 24	21 – 23
Відносна вологість W, %	40 – 60	40 – 60
Швидкість руху повітря V, м/с	0,2	0,1

## **Захисні заходи при забрудненні повітря:**

Повітряний апарат МПА призначений для захисту органів дихання і зору від впливу високотоксичного газового середовища при виконанні технічних робіт на об'єктах хімічних та нафтогазових підприємств. Також використовуються системи проточно-витяжної вентиляції.

## **Виробничий шум**

Приміщення, в якому розміщена лінія - закритого типу. Основним джерелом шуму при роботі є насос, та інше устаткування в яких шум досягає 90 дБА.

## **Вплив деталей машин, що рухаються та обертаються**

Небезпеку становлять обертові частини насосів, що працюють на установці. Для уникнення травматичних випадків частини, що обертаються захищені захисними кожухами. З метою захисту персоналу установка та її електроприводи огорожені захисною сіткою, яка має розміри отворів 5 см. Ця сітка закріплена в горизонтальному положенні на рухомих шарнірах і спирається кожною стороною на бокові опори конвеєрів. В разі необхідності захисну сітку можна легко зняти або здвинути вертикально вбік.

## **Заходи по зниженню шуму механічного походження:**

Шумопоглинання – використовують облицювальний матеріал з перфоруванням; покриттям та плити; звукоізоляція – проходу приміщення, не менше 30дБА, стіни та покриття цього приміщення мають звукоізолююче облицювання

					<i>ЛН71м.065152.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124



із коефіцієнтом звукопоглинання не менше 0,7 і мають звукоізолюючу здатність не нижче 50 дБА; необхідно спостерігати рівень мастила у підшипниках, що обертаються.

Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до 60 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

Засоби індивідуального захисту: протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, протишумні вкладиші «Беруши СТ-1» ТУУ25513947.002 99.

### **Промислове освітлення**

Дисертацією передбачається освітлення штучними засобами у всіх приміщеннях і на всіх площадках технологічної лінії.

Штучним освітленням у промисловому приміщенні у цеху являються штучні лампи ДРЛ-400 з потужністю  $W=400$  Вт. Які можуть забезпечити світловий потік у  $\Phi=19000$  люмен.

В цеху:

$$E_{\text{факт}} = 300 \text{ лк}$$

Охоронне, ремонтне а також аварійне освітлення планується з використанням ламп СПО-36/100,  $\Phi=3600$ лм, тому що вони вигідні у експлуатації та не вимагають спеціальних пристосувань для підключення до мережі. Лампи аварійного освітлення живляться від незалежного джерела.

В операторській використовуємо світлодіодні лампи  $W=8$  Вт,  $\varnothing = 8$  лм,  $n=3$ .

Для місцевого освітлення використовується вакуумна лампа розжарювання НВ, що дає освітлення  $E=200$ лк і відповідає до ДБНВ 2.5.28-2006.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно СН 181-70 для того, щоб підвищити рівномірність розподілу освітленості поля зору, стеля і стіни виробничих приміщень пофарбовані у салатовий колір. Виробниче устаткування пофарбоване в зелені кольори, та ті частини що рухаються – жовті кольори, а відкриті механізми – червоні кольори.

Для того, щоб контролювати освітленість використовують люксметри не рідше ніж один раз у рік і кожної перевірки після ремонту світлової установки.

Оскільки фактичне освітлення у приміщенні цеха складає 100 лк, а згідно ДБНВ 2.5.28-2006 освітленість має бути не менше 150 лк, то необхідно розрахувати пристрій освітлення, який забезпечить виконання нормативної величини освітлення.

### **Пожежна безпека**

Пожежа - це процес горіння що не контролюється та супроводжується псуванням матеріальних об'єктів та утворює небезпечну ситуацію для життя людини.

У виробничому цеху, де працює лінія може горіти: дерев'яні вироби, електропроводка, електрообладнання та продукт лінії виробництва. На основі цього приміщення відноситься до категорії Б і класу зони П-Па.

Заходи щодо пожежної безпеки повинні забезпечуватися за рахунок проведення організаційних, технічних та інших заходів, які спрямовані для запобігання пожежі, надання безпеки людям, потрапившим під наслідки пожежі, пониження можливих втрат у виробництві та зниження екологічних наслідків у разі їх виникнення. А також створення умов для швидкого надання допомоги підрозділами та успішного знешкодження пожежі.

Причинами пожежі можуть бути:

- порушення технологічного режиму;
- куріння в невстановлених місцях;

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- несправність електрообладнання і електропроводки;
- розряди статичної електрики.

Відповідно з ОНТП 24 - 86 приміщення для даної лінії відносять до категорії В – пожежонебезпечні, так як вони містять горючі речовини. У відповідності з СН и П 2.01.02 – 85 клас зони П -Па (ПУЕ), будівля відноситься до 1-го ступеню вогнетривкості. Кількість поверхів не обмежується. Площа поверхів в межах пожежних відсіків не обмежується. Ширина евакуиходів – 0,9 м.

В цілях протипожежної безпеки в цеху систематично видаляється пил з поверхонь, змащувальні матеріали зберігаються в металевих ящиках у відведених місцях. Засобом захисту від статичної електрики являється заземлення

При пожежі важливим фактором є увага та незволікання при надзвичайних ситуаціях, вимкнення вентиляції, зупинка та вимкнення лінії виробництва. Також важливим фактором при пожежі є усунення небезпеки здійсненні первинного займання та дотримання певних заходів щодо пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння робляться для того, щоб ліквідувати невеликі осередки пожежі, а також для ліквідації пожежі на початковому етапі її розвитку персоналом для затримання розповсюдження до прибуття пожежників.

Першочерговими засобами пожежогасіння являються: вогнегасники, спеціальні пожежні приладдя (ємності із водою, пожежні ємності, ящики з піском, лопати, протипожежні ковдри) а також пожежний інструмент: (гаки, ломы, сокири тощо).

Вогнегасники а також інші допоміжні засоби ліквідації пожежі мають червоний колір фарби, а ємності із водою та ємності із піском мають відповідні позначення білим кольором. Пожежні інструменти фарбуються чорним кольором.

Ємності для сховища води для гасіння пожежі розміщуються у спеціальному виробничому приміщенні. Такі ємності повинні містити пожежні відра місткістю у 8 л.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		127

Ємності для піску повинні мати місткість від 0,5 до 3,0 м<sup>3</sup> та повинні мати біля себе лопати. Протипожежні ковдри, повинні бути виготовлені зі спеціального негорючого полотна та повинні мати габарити: 2х1 м на 2х2 м.

У приміщенні повинні бути аварійні виходи, не меншу двох. Перший повинен розміщуватись на початку цеху, а другий у кінці цеху.

Балони із киснем, встановлені у приміщеннях, та знаходяться на відстані більше одного метру від опалювальних радіаторів, та мають розміщення більше 5 м від джерела тепла із відкритим вогнем. Повні балони зберігаються у вертикальному положенні. Прийняті заходи щодо запобігання падіння балонів.

У складах, де зберігаються балони повинні матись два поверхи із спеціальним покриттям, а також у цих складах відсутні горішні приміщення. Стіни та перегородки виконані зі спеціальних негорючих матеріалів, які мають ступінь вогнестійкості вище III. У складах вікна та двері відкриваються назовні. Скло вікон і дверей покрите спеціальною матовою фарбою та певні з них пофарбовані у білий колір. Складські приміщення мають висоту більше 3,5 метрів від підлоги. Підлога складів побудована рівно та має неслизьку поверхню.

У всіх складах розвішені інструкції та правила щодо поводження та експлуатації балонів та іншого устаткування.

Балони із киснем пофарбовані у голубий колір та підписані відповідною назвою чорною фарбою.

### **Визначення ступенів руйнувань цеху**

Задля руйнування і пошкодження обладнання цеху були зроблені розрахунки та допущено можливе розташування біля вибухонебезпечних речовин.

Було розраховано наслідки та силу руйнування цеху а також залежність від

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його міцності та тиску ( $\Delta P_{\phi}$ ) ударної хвилі при вибуду речовин. Даний тиск залежить від вибухонебезпечності та об'єму вибухової речовини, що знаходиться біля цеху а також відстань від центру вибуху речовини до цеху.

### 1. Вибух суміші вуглеводневих продуктів.

Було розраховано тиск ударної хвилі у трьох зонах в залежності від характеру вибухової речовини:

Зона 1 – Розрахунковий радіус зони:

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{Q} = 17,5 \cdot \sqrt[3]{5} = 30 \text{ м},$$

де  $Q$  – кількість вуглеводневого продукту, т.

Тиск ударної хвилі  $\Delta P_{\phi} = 1700 \text{ кПа}$ .

Зона 2 – Розрахунковий радіус зони:

$$r_2 = 1,7 r_1 = 1,7 \cdot 30 = 51 \text{ м}.$$

Тиск ударної хвилі:

$$\Delta P_{\phi} = 1300 \left( r_1 / R_0 \right)^3 + 50 = 1300 \cdot (30 / 25)^3 + 50 = 2296 \text{ кПа},$$

де  $R_0$  – відстань від ЦВ до об'єкта в межах зони II (тобто  $L \leq r_2, R_0 = L$ ).

Зона 3:

Тиск ударної хвилі:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L^3}{Q} - 1}} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{25^3}{5} - 1}} = 2313 \text{ кПа},$$

де  $L$  – відстань до центру вибуху, м;

$Q$  – кількість вибухової речовини, т.

### 2. Вибух речовин таких як тротил, пікринова кислота, тетрил, гексоген і т.д.

Тиск ударної хвилі:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{\phi} = \left( 1,05 \frac{\sqrt[3]{Q}}{L} + 43 \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{L^2} + 1400 \frac{Q}{L^3} \right) \cdot 10^3 =$$

$$= \left( 1,05 \cdot \frac{\sqrt[3]{5}}{25} + 43 \cdot \frac{\sqrt[3]{5^2}}{25^2} + 1400 \cdot \frac{5}{25^3} \right) \cdot 10^3 = 1091 \text{ кПа},$$

де  $Q = K_{BP} \cdot Q_{BP} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м}$ ;  $K_{BP}=1$  – для тротилу.

Висновок: Так як тиск ударної хвилі вибуху перевищує допустиму, яка дорівнює 500 кПа, то було прийнято заходи захисту від вибуху у вигляді спеціальної захисної огорожі навколо цеху. Але в майбутньому при будівництві інших цехів будуть прийняті заходи стосовно відстані до вибухонебезпечних об'єктів.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

## 6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апаратів

### Монтаж та експлуатація теплообмінника

При монтажу теплообмінника апарат піднімається за допомогою вантажопідійомних пристроїв за профіль кутиків, які розташовані на опорах. Вантажопідйомність крана на необхідному для монтажу вильоті крюка повинна бути не меншою за масу апарата. Теплообмінник кріпиться на фундамент в горизонтальному положенні. Після цього проводиться перевірка відхилення від осі а також поміток у горизонтальних та вертикальних напрямках. Якщо відхилень, що не перевищують 20 мм по осям на весь апарат, немає, то тоді встановлюється апарат. А також проводяться перевірочні розрахунки правильності встановлення апарата.

Коли проходить монтаж окремих частин апарата робиться перевірка розташування фланців а також їхніх відхилень від запроектованих позначок, також є необхідним перевіряти, співпадання всіх роз'ємних з'єднань та з'єднань трубопроводів апарата.

Після того як монтажні роботи закінчено апарат піддають випробуванням. В першу чергу проводиться підготовка роботи, пов'язаної із оглядом апарата. При цій підготовці потрібно звертати увагу на наявність деталей, які гарантують герметичність системи та надійність при експлуатації.

Результатами цих випробувань виявляють дефекти та недоліки, після яких складають акт цих випробувань на обраний апарат.

При виготовленні апарата суттєву увагу звертають зварним з'єднанням – вони повинні відповідати ОСТ 26-291-87 “Сосуды и аппараты стальные сварные общие технические условия”.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		131

## Монтаж та експлуатація ректифікаційної колони

Перед початком монтажних робіт повинні бути виконані первинні роботи, такі як: підготовлення, тимчасовий рух персоналу та спец-техніки; виготовлення фундаментної плити; монтажні площадки повинні мати покриття зі збірного залізобетонного устаткування, забезпечення водопровідних систем, електрична забезпеченість персоналу та спец-техніки; підготовлення виробничих, адміністративно-побутових та санітарних приміщень; обладнання інструментальних кладок та ремонтних майстерень. Також має бути майданчик для загального складання та зберігання обладнання; здійснення заходів із техніки безпеки, охорони праці та протипожежної безпеки.

На стендах (рисунки 6.1) проводиться перевірка відповідних блоків із осьовим переміщенням та обертанням. Також проводиться перевірка зварювання. При зварюванні кілець, їхні шви мають спеціальні стенди, які обладнані перекидними мостами. На цих мостах розташовують зварювальне устаткування. Днища та обичайки також мають відповідні шви, які варяться вручну або на зварювальних автоматах.

Складання блоків відбувається разом із застосуванням спеціальних пристроїв, які надають надійне закріплення. У залежності від того, який спосіб монтажу було обрано, на відповідному кріпленні проводять збирання апарата. У деяких випадках можуть збирати тільки окремі блоки, які складаються із декількох.

При монтажі окремих блоків після встановлення до проектного положення наступного блоку проводять встановлення тарілок колони, а також металоконструкцій, які обслуговують площадки.

Опора колони приведнується в самому кінці, після того, як зібрали всю конструкцію.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



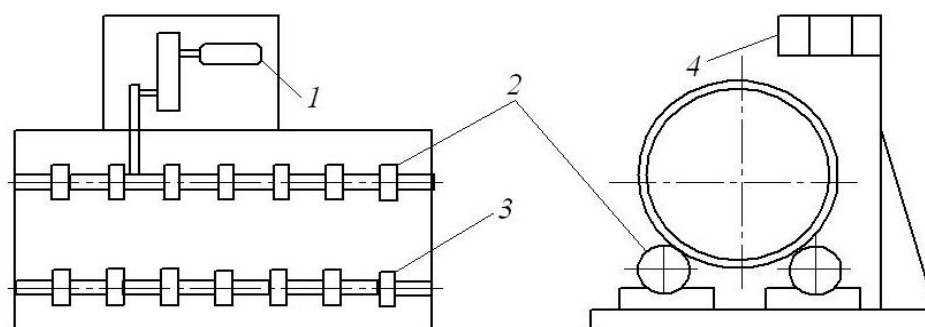


Рисунок 6.1 — Пристрій автоматичного зварювання колонних апаратів

1 – привід; 2 – ролики привідні; 3 – ролики холості; 4 – місце для зварювальника.

Після зварювання всієї конструкції перевіряються усі розміри зібраної колони. Вони мають відповідати заданим допускам.

Тарілок починають збирати із приварюванням їх до стінки обичайки ізсередины. Приварювання проходить за відповідності до технічних умов та із застережень, що при використанні колони тяжко буде визначити деякі окремі дефекти швів.

Деталі тарілок, які розбираються, заносяться досередини колони через спеціальний люк. Їх збирають у певній послідовності відповідно конструкції. Також треба приділяти увагу роз'ємним деталям, для запобігання саморозгвинчування.

Складність монтажних робіт колонних апаратів в розрахункову позицію визначають їхніми спроектованими розмірами. Підйом апарата виконують відповідними кранами, різних конструкцій та спеціальними щоглами для горизонтальної частини монтажних робіт. Використовують основні принципи підймання, такі як: ковзання та поворот (рисунок 6.2).

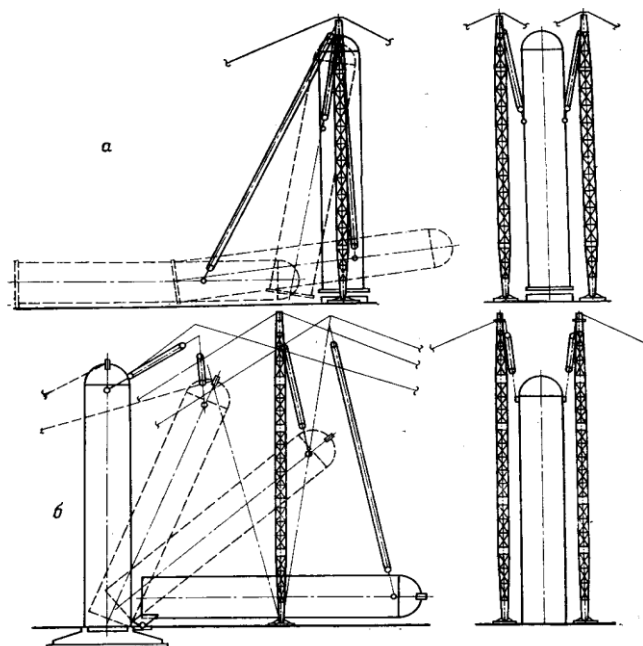


Рисунок 6.2 — Способи підймання колонних апаратів

а – способом ковзання; б – поворотом.

Коли апарат підіймається із ковзанням, за допомогою щогл, які встановлюються на обох краях фундаменту (рисунок 6.2а). Спец-кран, що проводить підйом заздалегідь підганяють спец-технікою до фундаменту.

Коли апарат підіймається догори, то його нижня частина приближається до фундаменту, ковзаючи по підготовленій плиті. Для регулювання руху опорної частини апарата і запобіганню ривкам та ударам по плиті, ту частину колони, що знаходиться знизу кріплення підстраховують спеціальним тросом. Після того, коли вісь колони наблизиться до вертикального положення, її опору відривають від землі. В кінці апарат базують на фундамент. Перед тим як знімати стропи перевіряється положення колони, а також перевіряється міцність затяжки фундаментних болтів.

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Застосування стандартних та уніфікованих деталей сприяє скорочення витрат матеріалів, зменшує витрати пов'язані підготовкою виробництва, збільшенню продуктивності виробництва. Для стандартних деталей не потрібно проектувати спеціальну оснастку. Під рівнем стандартизації та уніфікації виробу розуміється насичення їх відповідно стандартизованими та уніфікованими деталями. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється коефіцієнтами стандартизації та уніфікації.

Коефіцієнт стандартизації визначаємо із залежності [6]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{1148}{1390} = 0,83,$$

де  $n_c$  - кількість стандартних деталей в апараті,  $n_c = 1148$ ;

$N$  - загальна кількість деталей в апараті,  $N = 1390$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності []:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{1148 + 12}{1390} = 0,84$$

де  $n_z$  - кількість уніфікованих деталей в апараті,  $n_z = 12$ .

Висновок: у результаті розрахунку встановлено, що коефіцієнт стандартизації  $K_c = 0,83$ , коефіцієнт уніфікації  $K_y = 0,84$ . Невисокі коефіцієнти можна пояснити тим, що багато деталей та вузлів виробу виготовляється безпосередньо на підприємстві.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		135

## 8 Розробка стартап-проекту

### 8.1 Опис ідеї проекту

Бізнес ідея полягає в заощадженні матеріалу на стадії виготовлення продукту (апарата), що значно зменшує вагу апарату та кількість затраченого матеріалу.

Основна ідея цього стартап проекту належить до теплообмінної апаратури, і може бути використана в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Удосконалений холодильник-конденсатор «труба в трубі» містить нове виконання патрубків у вигляді зігнутих на  $90^\circ$  кінцевих ділянок зовнішніх труб. Прямолінійні внутрішні труби, які розміщуються всередині зовнішніх труб, традиційно з'єднуються між собою за допомогою калачів з фланцями. Розташування кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб може здійснюватися в одній площині без повороту одна відносно одної, з поворотом одна відносно одної на  $90^\circ$  чи  $180^\circ$ , що забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі. Запропонована конструкція теплообмінника розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, зменшує матеріалоємність апарата, а також робить його компактним. А плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника [24].

Таблиця 8.1 Опис ідеї стартап – проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовити теплообмінник «труба в трубі» із зовнішніми трубами, зігнутими на кінцях на $90^\circ$ ,	Виготовлення теплообмінника «труба в трубі» з кращими експлуатаційними	Розширення технологічних можливостей в цілому

Продовження таблиці 8.1

що дає можливість зменшити гідравлічний опір в свою чергу збільшуючи продуктивність	характеристиками за рахунок конструктивного вдосконалення, який буде мати конкурентну перевагу на ринку теплообмінного обладнання	
	Застосування кращого теплообмінного обладнання для реалізації стартап-проекту, яке буде використовуватися в хімічних галузях промисловості	Зменшення матеріалоємності апарата та гідравлічного опору
		Компактність
		Збільшення продуктивності при проведенні процесу
		Зменшення витрат на придбання обладнання та його ремонту

На даний момент вже розроблена модернізація існуючого обладнання (модернізація теплообмінника «труба в трубі» для охолодження дистилату при розділення суміші метанолу та води). Гарантується ефективність нововведеної модернізації та її швидка окупність внаслідок збільшення енергоефективності, покращенні основних показників продукції, що виробляється тощо. Проект включає в себе створення технічної документації, креслень застосуванням систем комп'ютерного проектування. Також проект передбачає допомогу в впровадженні інновацій, вирішення проблем, що виникають на виробництві, організацію процесу та забезпе-

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		137

чення всіма необхідними довідковими матеріалами, налагодження нового обладнання, його автоматизацію, підготовку персоналу для роботи з ним та допомогу при виникненні проблем з впровадженими інноваціями в обладнанні [3].

Теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями. Патрубки утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок зовнішніх труб [3].

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [25]:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї, яка полягає в заощадженні матеріалу на стадії виготовлення продукту (апарата), що значно зменшує вагу апарата та кількість затраченого матеріалу, а також збільшенні продуктивності апарата, що виготовляється.
- визначено попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) що вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів таких як: Рідан, ООО «СІБТЕРМО», FUNKE-UKRAINE, PlusTerm, TERMOPROM.
- Проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні); в) кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 2.

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	ООО «СІБТЕРМО»	FUNKE-UKRAINE	PlusTerm			

Продовження таблиці 8.2

Вартість теплообмінника, грн	50000	60000	55000	63000	—	+	—
Енергозатрати теплоносія, кг/с	0,612	0,85	1,23	0,98	—	—	+
Продуктивність, кг/год	0,756	0,68	0,653	0,71	—	+	—
Вихід бракованої продукції, кг/год	0,1	0,2	0,4	0,3	—	—	+
Площа поверхні теплопередачі, $m^2$	15,4	14	13,6	15,1	—	—	+

Основною перевагою над конкурентами є: гарантоване отримання більш високих результатів за короткий термін роботи модернізації. Проект працює за трьома основними критеріями роботи – надійність, ефективність та безпека вироблених виробів. Завдяки співпраці оновлене підприємство стане більш енергоефективним, підвищиться якість продукції, що виготовляється. Тобто підприємство стане більш конкурентоспроможним на ринку в Україні та світі. Також одним з основних напрямків діяльності проекту є: створення кращих робочих умов для працівників та їх безпеки при роботі.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						139
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Теплообмінник «труба в трубі» призначений для охолодження дистиляту, який подається із ректифікаційної колони. Даний теплообмінник належить до теплообмінного обладнання, зокрема до теплообмінників з трубчастими теплообмінними елементами. Він може використовуватись в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Розроблення стартап-проекту проводимо згідно методики [24].

Конструкцію теплообмінника типу «труба в трубі» наведено на рисунку 8.1.

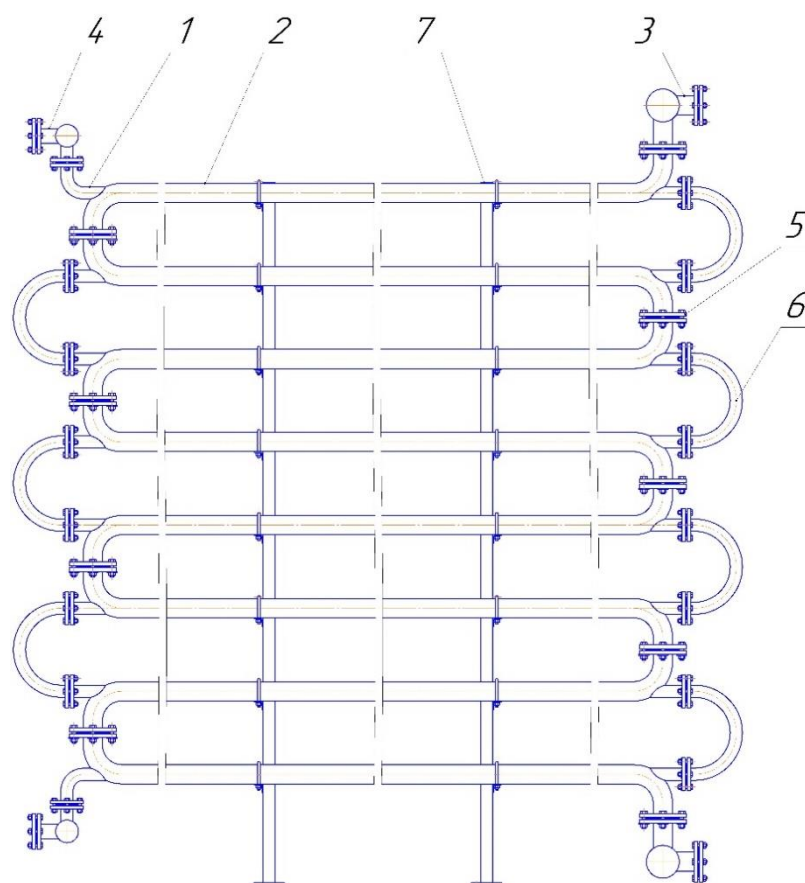


Рисунок 8.1 – Конструктивна схема теплообмінника

1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3,4 – патрубки; 5 – фланці; 6 – калачі; 7 – опора.

					ЛН71м.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		140



В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту [26].

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових:

1. За якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?

Елементи теплообмінника та сам теплообмінник виготовляються на спеціальному металорізальному обладнанні та верстатах з ЧПУ, внаслідок необхідності обробки складних поверхонь.

2. Чи існують такі технології, чи їх потрібно створювати? Такі технології існують і їх цілком достатньо. В розробці/добробці їх немає необхідності [26].

3. Чи доступні такі технології авторам проекту?

Так, дані технології цілком доступні.

Таблиця 8.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виготовити теплообмінник «труба в трубі» із зовнішніми трубами, зігнутими на кінцях на 90°,	Модернізована конструкція переходу теплоносія між елементами теплообмінника у зовнішніх трубах	На сьогоднішній день відомо багато конструкцій теплообмінників, але процес теплопередачі можна зробити ефективнішим.	Література для вивчення процесу теплопередачі представлена декількома авторами, для підвищення конкурентоспроможності потребує подальшого вивчення

### Продовження таблиці 8.3

	що дає можли- вість зменшити гідравлічний опір в свою чергу збі- льшуючи продук- тивність			
2	Зменшення гідра- влічних втрат	Дана модерніза- ція теплообмін- ника забезпечує зменшення гід- равлічних втрат, в свою чергу збі- льшуючи продук- тивність	Наявні, відомі конструкції модернізу- ються	На ринку пред- ставлено бага- тьма виробни- ками теплооб- мінного облад- нання

Обрана технологія реалізації ідеї проекту:

Нова конструкція переходу між трубами дає можливість покращити теплооб-  
мінник за багатьма показниками.

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації про-  
екту, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити – є можливим за  
рахунок конструктивного вдосконалення апарата.

### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна застосувати під час ринкового  
впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть завадити реалізації проекту,

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		142

дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів–конкурентів [27].

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

В таблиці 8.4 наведено попередні характеристики потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість основних гравців, од	5
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	1200
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60

За результатами аналізу таблиці робимо висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 8.5) [27].

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в теплообмінниках з більшою продуктивністю та меншою матеріалоемністю за нижчою ціною	Компанії, що виготовляють теплообмінні апарати, машинобудівельні компанії тощо.	ДСТУ, ГОСТ, ISO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- до продукції: якісні апарати та відповідність всім нормативам, щодо міцності, надійності;</li> <li>- до компанії-постачальника: якість постачання, швидкість, доступність.</li> </ul>

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому заважають (таблиці 8.6, 8.7). Фактори в таблицях подаються в порядку зменшення цінності [28].

Фактори загроз вносимо до таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Політико-правовий Зсув стратегічного курсу країни з промислового сектору в агропромисловість	Може вплинути на працездатність проекту, купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	<p>Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця.</p> <p>Шукати клієнтів у агросекторі</p> <p>Шукати клієнтів закордоном</p>

Продовження таблиці 8.6

Нестабільна конфліктна ситуація в Україні на Сході	Недостатня підтримка державою нових підприємців. Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії. Зменшення кількості клієнтів в Україні	Для українських клієнтів підкреслювати енергоефективність наших теплообмінників
Економічні: інфляція	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Підвищення ціни на продукт
Науково-технічні: Зміниться технологія виготовлення теплообмінного обладнання	Невідповідність технологій споживчих та послуг науково-технічному розвитку. «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Постійний пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та в суміжних сферах діяльності. Інноваційна діяльність.
Соціально-культурні: «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».	Небажання споживачів купувати нове обладнання	Пропонувати споживачам замість купівлі нового обладнання модернізацію їх виробництва за допомогою наших послуг

Таблиця 8.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні застаріла конструкції теплообмінного обладнання	Поява нового модернізованого теплообмінного обладнання	Розробка нового обладнання та конструкцій теплообмінних труб. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.
Демографічні:  Розвиток машинобудівної галузі	Збільшення населення, покращується попит на продукцію	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому.
Високий інтелектуальний потенціал компанії	Кваліфіковані, лояльні і добре мотивовані працівники як інструмент для досягнення конкурентних переваг	Оптимізація управління трудовими ресурсами; розробка методів, спрямованих на підвищення продуктивності праці

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, отримані дані заносимо до таблиці 8.8.

Таблиця 8.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
--------------------------------------	---	--

Продовження таблиці 8.8

1. Тип конкуренції: Монополістична	Товар кожної фірми, яка торгує на ринку, є недосконалим заміником товару, який реалізують інші фірми. Диференціація товарів створює можливість обмеженого впливу на ринкові ціни, так як багато споживачів зберігають прихильність до конкретної марки і фірми навіть при деякому підвищенні цін.	Компанія повинна робити ставку на основні відмінності своєї продукції (за якістю, економічністю, конкретними фізичними характеристиками). Велика кількість продавців виключає можливість змови, не дає особливо впливати на ринкові ціни.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національний	Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.	Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над іміджем компанії.

Продовження таблиці 8.8

3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Теплообмінні апарати можна використовувати для різногалузевих виробництв та процесів.	Створення удосконаленого теплообмінного обладнання, яке спрямоване на зниження енергозатрат.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Під час прийняття рішення про купівлю клієнт буде обирати кращу за властивостями, або за ступенем вдоволення певних його потреб продукцію.	Передбачення способів просування товару та демонстрації його переваг з урахуванням потреб та точок зору різних категорій клієнтів
5. За характером конкурентних переваг: цінова	За рахунок покращення з точки зору клієнта співвідношення ціна/якість підвищується конкурентоспроможність товару	Постійне спостереження та оцінка цінової політики на ринку. Регулювання ціни в комплексі з якістю товару. Просування товару методами, що використовують фактичні розрахунки переваг товару (у чисельному вигляді)
6. За інтенсивністю: марочна	Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я.	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.



Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 8.9[28].

Таблиця 8.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Основні компанії, що виготовляють теплообмінні апарати: «Рідан», ООО «СІБ-ТЕРМО», «PlusTerm», «TERMOPROM»	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та дослідно-конструкторські	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Але на даний момент аналогів по показникам продуктивності немає
Висновки:	Основна перевага – досвід, відоме ім'я. Але, за рахунок інновацій,	Можливість входу на ринок існує. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники загалом не диктують умови. На даний момент існує велика низка можливих постачальників.	Диктують умови на ринку: якщо співвідношення ціна/якість буде не співмірним,	Мінімальне обмеження через товари-замінники.

Продовження таблиці 8.9

	тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.		Наш продукт є доволі адаптивним для видозмінених компонентів.	можуть відмовитися від продукту, оскільки є з чого вибрати.	
--	--	--	---	---	--

Згідно отриманого аналізу конкуренції визначено, що конкуренція на ринку, що важливим конкурентним рішенням є розвиток інновацій, тісний контакт з клієнтом, модернізації та створення нового обладнання.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 8.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.2), вимог споживачів до товару (табл. 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиці 8.6, 8.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [29].

Згідно отриманих результатів основним параметром конкурентоспроможності є якість обладнання для виробництва виробів різного призначення.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціна	За рахунок зменшення матеріалоємності та витрат теплоносія – загальна вартість знижується.

Продовження таблиці 8.10

2.	Технології	Впровадження модернізованого переходу зовнішніх труб теплообмінника не було застосовано в цьому напрямку раніше.
3.	Сервісне обслуговування	Акцент на подальшій співпраці з існуючим клієнтами.
4.	Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційність технології дозволяє впроваджувати ці апарати не тільки на території України.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводимо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 8.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	7			□	△	◇		
2.	Технології	8		△	◇			□	
3.	Сервісне обслуговування	12		△	□		◇		
4.	Можливість виходу на закордонний ринок	2		◇		□, △			

\* □ – «ТЕРМОПРОМ»

△ – ООО «СІБТЕРМО»

◇ – «Рідан»

Роблячи висновки з таблиці 8.11 бачимо, що підприємства конкуренти особливих переваг не мають, внаслідок застарілого обладнання та низької кількості виготовленої продукції. Тоді можна спостерігати сильні сторони даного проекту, а саме: посилені технічні характеристики теплообмінників; зменшення кількості виходу бракованого неякісного обладнання, універсальність застосування модернізованого обладнання. Слабкі сторони проекту: невеликий асортимент продукції, що виготовляється. Складаємо SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength), слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 10), та вносимо результати до таблиці 8.12 [29].

Таблиця 8.12 – SWOT - аналіз стартап -проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності.</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низький рівень фінансування</li> <li>- можливість витіснення іноземними підприємствами</li> <li>- нестабільна економічна ситуація в країні, що перешкоджає виходу на міжнародний ринок</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Науково-технічні</li> <li>-Розвиток машинобудівної галузі</li> <li>-Високий інтелектуальний потенціал компанії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного обладнання</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> </ul>

Продовження таблиці 8.12

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостатнє фінансування, відсутність інвесторів</li> <li>- Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Висока конкуренція на ринку</li> </ul>
--	---

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний період їх ринкового виконання з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок [30].

Визначені альтернативи аналізуємо з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, отримані дані вносимо до таблиці 8.13.

Таблиця 8.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Виготовлення модернізованих теплообмінників, які можна застосовувати в різних галузях промисловості	Високий	7 місяців
2.	Модернізація вже застарілих теплообмінників	Достатня	8 місяців

Продовження таблиці 8.13

3.	Обслуговування теплообмінників	Достатня	1 рік
----	--------------------------------	----------	-------

Після аналізу зазначити обираємо альтернативу виготовлення модернізованих теплообмінників, які можна застосовувати в різних галузях промисловості.

Після аналізу обираємо альтернативу диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.

#### 8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першочергово передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 8.14). Розроблення ринкової стратегії проекту проводимо згідно методикою наведеною в [31].

Таблиця 8.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
----------	--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

Продовження таблиці 8.14

1.	Приватні компанії хімічної та нафтопереробної промисловості	70%	60%	Конкуренція відносна. Попит залежить від розміру компанії та фінансового стану	Спілкування на пряму з представниками підприємства дає більшу імовірність заробити прихильність у клієнта
2.	Державний сектор різних галузей промисловості	50%	35%	Достатня конкуренція, оскільки більшість конкурентів працюють на державному рівні	Є певна складність, оскільки компанія ще не має власного імені та позитивної репутації

Які цільові групи обрано: Для здобуття іміджу та репутації компанії починати треба з приватних компаній хімічної та нафтопереробної промисловості, а в подальшому розповсюджувати свою діяльність і на державному рівні.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо приватні компанії хімічної та нафтопереробної промисловості і використовуємо стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, яка наведена в таблиці 8.15.

Таблиця 8.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Виготовити теплообмінник «труба в трубі» із зовнішніми трубами, зігнутими на кінцях на 90°, що дає можливість зменшити гідравлічний опір в свою чергу збільшуючи продуктивність	Диференційований маркетинг	Супровід обладнання, їх технічне обслуговування, навчання персоналу	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 8.16).

Таблиця 8.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*



Продовження таблиці 8.16

1.	Ні	Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Загальним для нашого товару і конкурентного є тільки основна ідея, а структура, компоненти, їх співвідношення є унікальними	Стратегія заняття конкурентної ніші
----	----	---	---	-------------------------------------

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 8.15) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 8.16). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 8.17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Стратегія диференціації		

Продовження таблиці 8.17

1. Аргументована ціна		1. Продукція вищої якості за конкурентну	1. Вміст продуктивності та менший гідрравлічний опір
2. Супроводження товару		2. Можливість економити на ресурсах	2. Тривалі контракти.
3. Необхідна якість		3. Програми лояльності за тривалі контракти	3. Програми лояльності.
		4. Супровід товару	

### 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.18 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Висока актуальність теплообмінного	Збільшення чистого прибутку. Збільшення продуктивності	- Високий інтелектуальний потенціал компанії - Інноваційність технології

Продовження таблиці 8.18

	обладнання у різних галузях	та зменшення гідравлічного опору апарата	- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження  - Адаптованість продукту суміжні ринки  - Підвищення продуктивності процесу та якості товару
2.	Зменшення виходу бракованого матеріалу	Збільшення продуктивності	Інноваційна конструкція теплообмінника
3.	Зниження енергозатрат на виробництво	Зменшення ціни продукту	Інноваційна конструкція

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 8.19). Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у методиці [31].

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки [31];
- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості [31];
- Надійності – здатність товару безвідмовно функціонувати: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;

- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару [31];
- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні [31];
- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару [31];
- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення[31];
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля [31];
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару [31].

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 8.19.

Таблиця 8.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
І. Товар за задумом	покращення якості готового продукту – теплообмінника, зокрема його труб; зменшення витрат енергетичних, матеріальних та людських ресурсів на виробництво.		
	Вирішення проблем пов'язаних з виробництвом (випуск бракованої продукції, низька надійність обладнання тощо).		
ІІ. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор

Продовження таблиці 8.19

	<p>Теплообмінне обладнання, особливністю яких є використання модернізованих теплообмінних труб.</p> <p>1. Надійність</p> <p>2. Енерго- та ресурсозбереження</p> <p>3. Доступна ціна</p> <p>4. Інноваційність технології</p>	+/+	-/+/+/-/-
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Пакування– відсутнє		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	<p>До продажу :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• програми лояльності при підписанні довготривалого контракту;</li><li>• різні способи доставки;</li><li>• різні способи оплати;</li><li>• демонстрації та моделювання роботи</li></ul>		
	<p>Після продажу:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• встановлення;</li><li>• обслуговування;</li><li>• супровід;</li><li>• навчання персоналу;</li><li>• гарантія повернення грошей і обміну товару.</li></ul>		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: буде розроблено патент на винахід, на кожному апараті буде фірмовий штамп.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від плагіату. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару [32].

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститутути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 8.20). Аналіз проводиться експертним методом [32].

Таблиця 8.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на то-вар/пос-лугу
1.	40000-80000 грн.	50000-150000 грн – ціни невисокі	Підприємства великі, середні та малі (цехи)	1500-3000 грн/1 консультація, в онлайні безкоштовно.
2.	Сама модернізація робиться коштом підприємства (клієнта) оплата йде тільки за обсяги роботи. 100 грн / година роботи	Розробка нового обладнання 150 грн/1 год	Дивлячись від розміру підприємства (клієнта) та обсягів виконання: 3000 – 7000 грн/1 год (для всього колективу)	700 грн/1год (для всього колективу)

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8.21) [32]:

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту) [32];
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту [32];
- вибір та обґрунтування виду посередників [32].

Таблиця 8.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти хочуть на власні очі бачити обладнання та його тестування перед закупівлею, потребують доставки, встановлення, консультацій, супроводу	Гарантія Тестування Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	Нульовий рівень. Наша компанія сама встановлює і проектує обладнання.  До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	Власна система збуту через інтернет і домовленість про подальшу співпрацю
2.	Консультування при виникненні питань та пропозицій	Виконання роботи та складання	Однорівневий	Через інтернет по телефону, відеоконференціях та на місці

Система збуту товарів - ключова ланка комерційної діяльності й свого роду фінішний комплекс у всій діяльності фірми по створенню, виробництву й доведенню товару до споживача. Власне, саме тут споживач або визнає, або не визнає всі зусилля підприємства корисними і потрібними для себе і, відповідно, купує або не купує її продукцію і послуги [32].

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22) [32].

Таблиця 8.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Розв'язок проблем в діяльності	Інтернет та соціальні мережі	Запевнення в швидкості та якості, створення партнерських стосунків з клієнтом.	Запевнити в швидкому розв'язку та відповідях на всі питання, що турбують.	«Довговічність і надійність»
2.	Пошук варіантів розвитку клієнта	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про Нас, надання гарантій та	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Все краще для вас »



## Продовження таблиці 8.22

	(покращення параметрів, зменшення затрат тощо).		картки клієнта з подальшим сервісом.		
3.	Бажання здійснити вигідну покупку, що буде актуальною тривалий час.	Інтернет та соціальні мережі, відеочати, реклама виставки та друкована продукція	Надання всієї інформації та гарантія на покупку.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Краще не знайдете»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки [32].

### 8.6 Висновки

В процесі розробки стартап-проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою.

У проведеному аналізі було визначено стратегії збуту послуг, та вплив основних факторів на попит послуг, які надаються нашим проектом. Та згідно отриманих даних у нашого проекту є:

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						165
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки надані послуги наявний попит, динаміка ринку, рентабельність роботи на ринку;
- перспективи впровадження для потенційних груп клієнтів, таких як малі, середні підприємства, що займаються виготовленням теплообмінників та суміжні підприємства;
- для ринкової реалізації проекту альтернативою впровадження доцільно обрати створення наукових семінарів та брати участь на виставках в даній сфері.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		166

## Висновки

У магістерській дисертації за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки на тему «Модернізація процесу ректифікації для розділення суміші метанолу і води з розробкою апаратів теплообмінника «труба в трубі» і ректифікаційної колони» було модернізовано теплообмінник «труба в трубі». Модернізація полягає у з'єднанні зовнішніх труб між собою за допомогою зігнутих на 90° патрубків, які розташовуються на кінцях труб.

Описано технологічну схему, проведено вибір типів апаратів, описано їх конструкцію, виконано порівняння з аналогами та патентний огляд. Виконано параметричні розрахунки, та розрахунки основних вузлів і елементів на міцність теплообмінника та ректифікаційної колони.

Виконано гідравлічний розрахунок стандартного теплообмінника та зроблено порівняння результатів із модернізованим апаратом.

Перевірено конструкції розроблюваних апаратів, що відповідають вимогам безпеки праці та промислової санітарії.

Розроблено стартап-проект запропонованої модернізації.

Розроблено схему автоматизації ректифікаційної установки, що дозволяє покращити якість продукції та підвищити безпеку експлуатації установки.

Розроблено технологічний процес виготовлення ковпачка тарілки ректифікаційної колони, спроектовано пристрій для витяжки заготовки ковпачка.

Виконано 9 креслень та два плакати формату А1.

За результатами дисертаційної роботи отримано 2 деклараційних патенти України на корисну модель, результати опрелюднено на 3 міжнародних конференціях, та опубліковано статтю у фаховому журналі.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		167

## Выводы

В магистерской диссертации по образовательно-профессиональной программе магистерской подготовки на тему «Модернизация процесса ректификации для разделения смеси метанола и воды с разработкой аппаратов теплообменника «труба в трубе» и ректификационной колонны» был модернизирован теплообменник «труба в трубе». Модернизация заключается в соединении наружных труб между собой с помощью изогнутых на  $90^\circ$  патрубков, которые располагаются на концах труб.

Сделано описание технологической схемы, проведен выбор типов аппаратов, описаны их конструкции, выполнено сравнение с аналогами и патентный обзор. Выполнены параметрические расчеты, и расчеты основных узлов и элементов на прочность теплообменника и ректификационной колонны.

Выполнен гидравлический расчет стандартного теплообменника и сделано сравнение результатов с модернизированным аппаратом.

Проверено конструкции разрабатываемых аппаратов, отвечающих требованиям безопасности труда и промышленной санитарии.

Разработан стартап-проект предложенной модернизации.

Разработано схему автоматизации ректификационной установки, позволяющей улучшить качество продукции и повысить безопасность эксплуатации установки.

Разработан технологический процесс изготовления колпачка тарелки ректификационной колонны, спроектировано устройство для вытяжки заготовки колпачка.

Выполнено 9 чертежей и два плаката формата A1.

По результатам диссертационной работы получено 2 декларационных патента Украины на полезную модель, результаты опрелюднено на 3 международных конференциях и опубликована статья в фаховом журнале.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		168

## Conclusions

In the Master's thesis on the topic «Modernization of rectification process to separate methanol from water with the development of tube-in-tube heat exchanger and rectification column» tube- in -tube heat exchanger has been modernized. The modernization consists in connection of external pipes with each other by means of pipe branch bend 90 Degrees, which are located at the ends of pipes.

The technological scheme is described, types of devices are chosen, the design is described, and comparison with analogs and patent search were performed. The parametric calculations, calculations of basic units and elements of durability of the heat exchanger and the rectification column are executed.

A hydraulic calculation of the standard heat exchanger and a comparison of the results with the modernized apparatus are executed.

The designs of apparatus in development, which meet the requirements of safety and industrial sanitation are checked.

A startup project for proposed upgrade has been developed.

The scheme of automation of the distillation plant has been developed, which allows to improve the quality of products and increase the safety of operation of the structure.

The technological process of tray cap production a cap of the dish rectification column is developed; a device for extracting the work piece of a tray cap is designed.

10 drawings and two posters of A1 format are executed.

Based on the findings of the Master's thesis, 2 Declarative patent of Ukraine has been obtained on a useful model, the results have been presented at 3 international conferences, and an article in a professional journal has been published.

					ЛН71мн.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		169

## Перелік посилань

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под ред. П. Г. Романкова. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия. 1991. – 496 ст.
3. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности./ 2-е изд., пер. и доп. — Л.: Химия, 1974. — 343 с.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
5. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
6. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.
7. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.
8. І.О. Мікульонок. Конструювання фланцевих з'єднань сталевих посудин та апаратів: Навч. посібник /. – К.: ІЗМН, 1997 – 152 с.
9. ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
10. С.Т. Чечель. Расчет теплообменного оборудования: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1985. – 317 с.
11. Богуславский Б.Л. Справочник металлиста / Богуславский Б.Л., Решиков В.Ф., Чернавский С.А. - Машиностроение, 1976.
12. Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник., – Л.: Машиностроение. 1981. – 382 с.

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		170

13. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. Изд. 2-е, пер. и доп. Л.: «Химия», 1974, 344 с.
14. Патент №36108 (UA), МПК (2006) F28D 7/10. Теплообмінник типу «труба в трубі» / Дейнеко Андрій Іванович, (UA), Голубєв Олексій Борисович, (UA), Барабаш Петро Олексійович, (UA). Заявка № u 2017 06895, 19.05.2017; Опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
15. Патент №65606 (UA), МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Зубрій Олег Григорович, (UA), Лисенко Данііл Миколайович, (UA), Мікульонок Ігор Олегович, (UA). Заявка № u 2017 06253, 19.05.2017; Опубл. 12.12.2017, Бюл. № 23.
16. Патент №93493 (UA), МПК (2006.01) B29L 31/18, B21C 37/22. Теплообмінник типу «труба в трубі» / Арди́ковський Олексій Ві́кторович, (UA), Степанюк Андрій Романович, (UA). Заявка № u 2016 01464, 14.02.2016; Опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
17. Patent №1431693 (JP), F28D 7/10, F28F 1/06, F28F 1/00. Double-pipe heat exchanger / Kusatsu-shi Shiga, (JP), Neyagawa-shi Osaka, (JP), Sakata-gun Shiga, (JP). Filing № 03028294.1, 10.12.2016; Publication 23.06.2017.
18. Patent №2787314 (JP), F28D 7/06, F25B 40/00. Double-pipe heat exchanger / Osaka-shi, (JP). Filing № 12852894.0, 08.10.2018; Publication 06.11.2018.
19. Патент №54918 (UA), МПК (2009) B01D 3/14. Ректифікаційна колона / Михалюк Олександр Миколайович, (UA), Гатілов Костянтин Олександрович, (UA), Ракицький Віталій Леонідович (UA). Заявка № u 2016 07172, 10.06.2016; Опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.
20. Патент №95134 (UA), МПК (2006.01) B01D 3/00, B01D 3/32. Ректифікаційна колона / Муляр Віталій Петрович, (UA). Заявка № u 2017 07364, 01.07.2017; Опубл. 10.12.2017, Бюл. № 23.
21. Патент №33453 (UA), МПК (2008.01) B01D 3/16. Ректифікаційна колона / Новосельцев Олександр Олександрович, (UA), Лавренко Юлія Олексіївна,

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		171

- (UA). Заявка № u 2016 01440, 04.02.2016; Опубл. 25.06.2016, Бюл. № 12.
22. Patent №6,514,387 (US), B01D 3/36, B01D 3/40. Rectifying column / Gerd Emmrich, (DE), Barbel Kolbe, (DE), Helmut Gehrke, (DE), Frank Ennenbach, (DE), Uwe Ranke, (DE). Filing № PCT/EP99/07285, 10.01.2017; Publication 05.11.2018.
23. Patent №6,554,965 (US), B01D 3/00, B01D 47/00. Rectifying column / Horst Hartmann, (DE), Wolfram Burst, (DE), Wulf Kaiser, (DE), Harald Laas, (DE), Paul Grafen, (DE), Bernhard Bockstiegel, (DE), Kai-Uwe Baldenius, (DE). Filing № PCT/EP96/02850, 20.12.2016; Publication 29.06.2017.
24. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
25. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.
26. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
27. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені



Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

28. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
29. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
30. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).
31. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).
32. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступа : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

**Додаток А**

**Виготовлення ковпачка для ректифікаційної колони**

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		174

## Додаток А Технологія виготовлення ковпачка

### Зміст

Вступ.....	2
А.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	3
А.1.1 Призначення, умови роботи ковпачка у ректифікаційній колоні .....	3
А.1.2 Вибір і обґрунтування вибору заготовки .....	4
А.1.3 Визначимо кількість операцій витяжки ковпачка .....	6
А.1.4 Розрахунок зусиль витяжки .....	8
А.1.5 Розрахунок на міцність найбільш напружених деталей. Розрахунок пуансонів на міцність та жорсткість.....	10
А.2 Розрахунок припусків на обробку торця ковпачка 50h7 .....	11
А.2.1 Розрахунок режимів різання .....	15
А.2.2 Розрахунок режимів різання при розсвердлюванні отвору Ø 10,5 .....	16
А.2.3 Розрахунок норми часу на розсвердлення отвору Ø10,5 .....	17
Висновки.....	19
Перелік посилань .....	20

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Мішуков С.Г.			Технологія виготовлення ковпачка для ректифікаційної колони		Літ.	Лист	Листів
Перев.		Двойнос Я.Г.						1	22
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського ІХФ, каф. МАХНВ		
Н. Контр.									
Затв.									

## Вступ

Мета даного розділу дисертації – розробка технологічного процесу механічної обробки деталі – ковпачка та проектування одного з верстатних пристроїв.

В ході роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити технологічний процес виготовлення деталі – ковпачка та вибрати метод отримання заготовки. Вибрати обладнання та інструмент для кожної операції технологічного процесу, розрахувати міжопераційні припуски, режими різання та норми часу для виконання операцій,

спроектувати верстатне пристосування – штамп для вирубки заготовки ковпачка.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **А.1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі**

Ковпачок виготовляємо із заготовки, яка має габаритами  $\varnothing 129 \times 2$ .

Матеріал виготовлення деталі – корозійностійка та жароміцна сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 задовольняє всім пред'явленим вимогам та забезпечує добру працездатність деталі у виробі.

Головним при виборі методу отримання заготовки є забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальній собівартості.

Заготовки в машинобудуванні можуть бути отримані такими методами: литтям, куванням, пресуванням, штампуванням, з прокату, комбінованими методами.

Технологічні процеси отримання заготовок визначаються технологічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами деталі та об'ємом виробництва.

Виходячи з властивостей матеріалу заготовка ковпачка виготовляється з листового прокату. Лист правлять на листоправильній машині, потім ріжуть ножицями на певного розміру шматки. Далі подають на прес для вирубки заготовки, після чого заготовку витягують необхідну кількість разів у штампах для витяжки ковпачків.

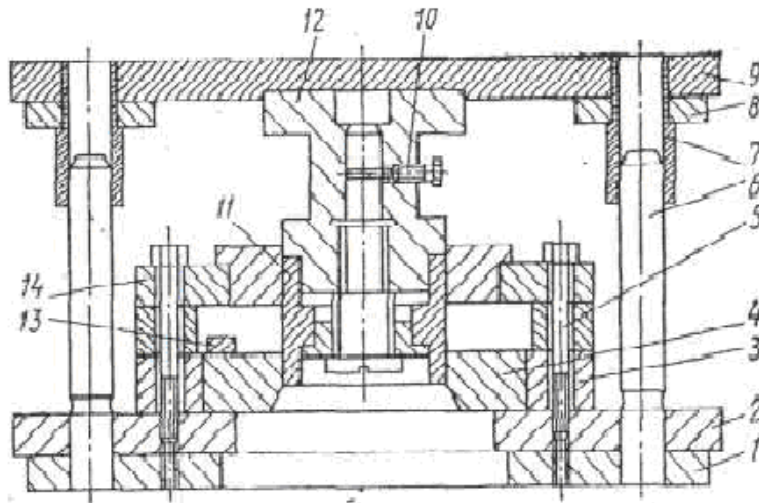
### **А.1.1 Призначення, умови роботи ковпачка у ректифікаційній колоні**

Ковпачок знаходиться в рідкому середовищі при температурі  $T=337$  К. Тиск на ковпачок  $p=0,1$  МПа. Для запобігання порушень працездатності ковпачків, у ректифікаційній колоні передбачені спеціальні технічні заходи для регулювання тиску та температури.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### А.1.2 Вибір і обґрунтування вибору заготовки

Ковпачки виготовляють за декілька переходів. Заготовка ковпачка вирубуеться в штампі, зображеному на рисунку А.1



1 – плита преса, 2 – нижня плита штампа, 3 – матрицетримач,  
4 – матриця, 5 – гвинт, 6 – колонка, 7 – втулка, 8 – планка, 9 – верхня плита  
штампа, 10 – болт, 11 – пуансон, 12 – пуансонотримач,  
13 – упор, 14 – планка-знімач.

Рисунок А.1 – Штамп для вирубки заготовки ковпачка.

Нижню плиту 2 штампа кріплять болтами до нижньої плити преса 1. До нижньої плити штампа за допомогою матрицетримача 3 кріплять матрицю 4, а до верхньої плити болтами — пуансонотримач 12 з пуансоном 11. Для збігу осей пуансона і матриці, що забезпечує рівномірність зазору при вирубці, передбачені напрямні стовпчики 6 і втулки 7. Смуга-заготівка подається до упору 13 і направляється з бічних сторін двома планками. Переміщенням пуансона 11 донизу вирубуеться кругла заготівка ковпачка. При зворотньому ході вгору планка-знімач знімає висічку з пуансона. Для чергової вирубки смуга піднімається і подається на крок вперед до упору.

Знаходимо діаметр заготовки. Головним правилом при витяжці заготовки є рівність об'єму заготівки і готової деталі, так як в процесі пластичної деформації об'єм металу залишається незмінним.

При витяжці без потоншення товщини стінок зміною товщини матеріалу найчастіше зневажають і визначення розміру заготівки виконують за рівністю площ поверхонь заготівки і готової деталі з припуском на зріз.

Діаметр заготовки:

$$D_{\text{заг}} = \sqrt{D^2 + 4Dh} = \sqrt{60^2 + 4 \cdot 60 \cdot 50} = 0,129,$$

де  $D = 0,06 \text{ м}^2$  – заданий діаметр ковпачка;  $h = 0,05 \text{ м}$  – задана висота ковпачка.

Приймаємо:

$$D_{\text{заг}} = 0,129 \text{ м.}$$

Ескіз заготовки наведено на рисунку А.2.

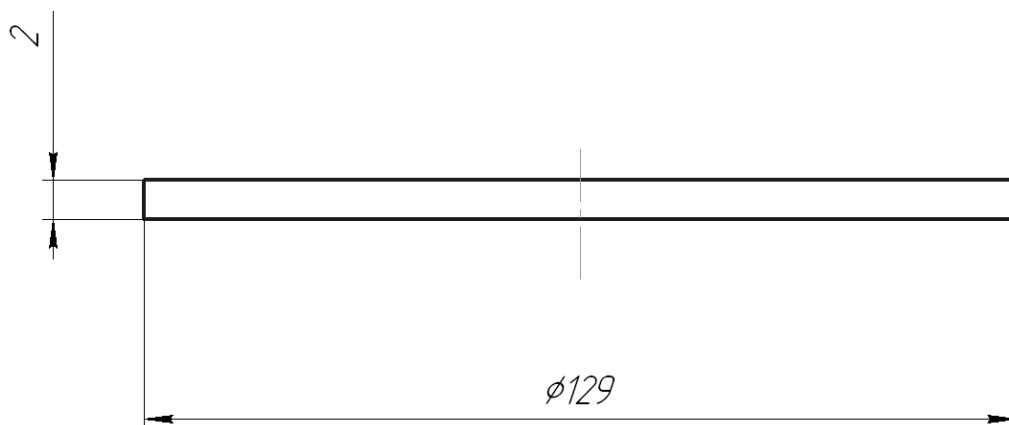


Рисунок А.2 – Ескіз заготовки

Радіус заготовки, м:

$$R_{\text{заг}} = \frac{D_{\text{заг}}}{2} = \frac{0,129}{2} = 0,0645.$$

Радіус деталі, м:

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{дет}} = \frac{D_{\text{дет}}}{2} = \frac{0,060}{2} = 0,030.$$

Перевіряємо вірність знайденого діаметра заготовки порівнюючи об'єми заготовки та готової деталі:

$$V_{\text{заг}} = \pi R_{\text{заг}}^2 H_{\text{заг}} = 3,14 \cdot 0,0645^2 \cdot 0,002 = 2,61 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3;$$

$$\begin{aligned} V_{\text{дет}} &= \pi R_{\text{дет}}^2 H_{\text{дет}} - \pi R_{\text{дет}}^2 H_{\text{дет}} = 3,14 \cdot 0,03^2 \cdot 0,05 - 3,14 \cdot 0,028^2 \cdot 0,048 = \\ &= 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3, \end{aligned}$$

де  $H_{\text{заг}}$  – висота (товщина) заготовки, м;  $H_{\text{дет}}$  – висота деталі (зовнішньої та внутрішньої стінки), м.

Розрахунки проведено вірно, так як об'єм деталі має бути меншим за об'єм заготовки, бо частина йде на обріз припуску, так як ковпачок вийде нерівним з торців.

### А.1.3 Визначимо кількість операцій витяжки ковпачка

Коефіцієнти витяжки циліндричних деталей виражаються наступними співвідношеннями:

- для першої витяжки:

$$m_1 = \frac{d_1}{D},$$

де  $d_1$  – зовнішній діаметр деталі після першої витяжки, м;

- для другої витяжки:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1},$$

де  $d_2$  – зовнішній діаметр деталі після другої витяжки, м;

- для наступних витяжок:

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}},$$

де  $d_n$  – зовнішній діаметр деталі після чергової витяжки, м.

Встановивши правильну величину коефіцієнтів витяжки по операціям [1] знаходимо розміри наступних витяжок.

Перша операція витяжки:

Зовнішній діаметр деталі, м:

$$d_1 = m_1 D_{\text{заг}} = 0,53 \cdot 0,129 = 0,0684,$$

Висота деталі, м:

$$h_1 = 0,25 \left( \frac{D}{m_1} - d_1 \right) = 0,25 \cdot \left( \frac{0,129}{0,53} - 0,0684 \right) = 0,0437.$$

Друга операція витяжки:

зовнішній діаметр деталі, м:

$$d_2 = 0,060 \text{ (задано).}$$

Тоді:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{0,06}{0,0684} = 0,877.$$

Висота деталі після другої витяжки, м

$$h_2 = 0,25 \left( \frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) = 0,25 \cdot \left( \frac{0,129}{0,53 \cdot 0,877} - 0,06 \right) = 0,0544.$$

Ковпачок ніколи не виходить рівним з торців. Тому необхідно врахувати припуск на обрізку. В нашому випадку припуск по висоті на обрізку 3,8 мм [2].

Результати отриманих розрахунків являються вихідними даними для проектування штампів, а також для розрахунку зусиль витяжки та вибору пресу.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після того як зроблено підріз торця, ковпачок подають для пробивки отвору, після чого отвір відбортовують. Далі подають на штамп для вирубки прорізів в ковпачках.

В даній роботі надалі детальніше розглянемо штамп для першої витяжки ковпачків.

#### А.1.4 Розрахунок зусиль витяжки

Зусилля витяжки змінюється на протязі робочого ходу пуансону. Розрахунок ведеться за [3]. Розглянемо операцію витяжки на першому етапі.

Зусилля витяжки [3], Н:

$$P_p = \pi d_1 S \sigma_b k / 100 = 3,14 \cdot 0,0684 \cdot 0,002 \cdot 330 \cdot 10^6 \cdot 0,8 / 100 = 1134,$$

де  $S = 0,002$  м – товщина заготовки;  $k = 0,8$  – ступінь витяжки;  
 $\sigma_b = 330 \cdot 10^6$  МПа – межа міцності [3].

Розрахункове зусилля прижима [3], Н:

$$Q = 0,25\pi \left[ D_{заг}^2 - (d_1 + 2r_m)^2 \right] q / 10 =$$

$$= 0,25 \cdot 3,14 \cdot \left[ 0,129^2 - (0,0684 + 2 \cdot 0,008)^2 \right] \cdot 0,25 \cdot 10^6 / 10 = 186,6,$$

де  $r_m = 0,008$  м – радіус закруглення кромки витяжної матриці;

$q = 0,25 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$  – середній тиск прижиму.

Повне зусилля витяжки для пресів, Н:

$$P = P_p + Q = 1095 + 186,6 = 1282.$$

Визначення роботи витяжки та норм часу на обробку, кДж:

$$A = \frac{CP_{\max} h_1}{1000} = \frac{0,7 \cdot 1289,62 \cdot 0,045}{1000} = 0,041.$$

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість витяжки [3]. Приймаємо  $V = 0,3 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ .

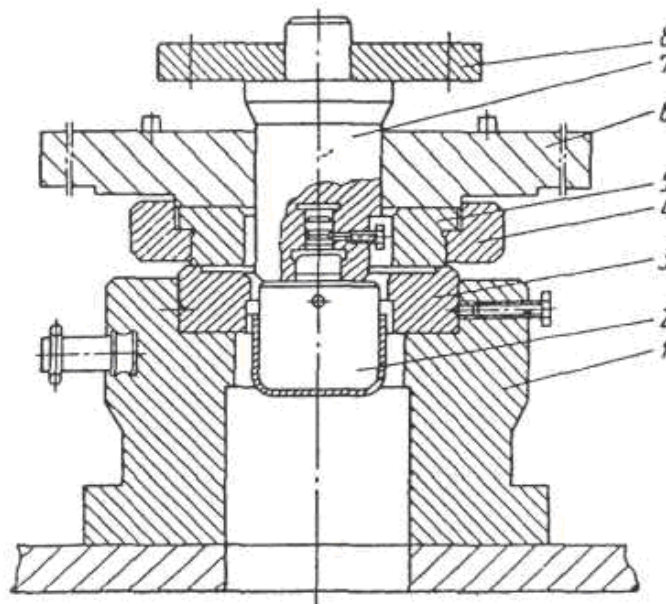
Основний час витяжки, хв:

$$t = \frac{h_1}{V} = \frac{0,045}{0,3} = 0,15.$$

Розробка пристрою

Призначення, опис конструкції і робота пристрою

На рисунку А.3 зображено штамп для першої витяжки ковпачка.



1, 6, 8 – плити, 2 – пуансон, 3 – матриця, 4 – кільце, 5 – прижим, 7 – пуансонотримач.

Рисунок А.3 – Штамп для першої витяжки ковпачка

У нижній плиті 1 штампа закріплена болтами матриця 3. До верхньої плити 8 кріплять пуансонотримач 7 і пуансон 2. Плита 6 служить для кріплення прижиму 5 і кільця 4. Заготовку-диск перед витяжкою укладають на змазану машинним маслом матрицю. При русі повзуна преса вниз плита 6 із прижимом 5 опускається доти, доки не пригорне заготовку до матриці. Після цього

пуансон 2, опускаючись, робить першу витяжку заготовки. При підйомі пуансона ковпачок упирається в кільцеве виточення матриці і знімається з пуансона, провалюючись донизу.

### **А.1.5 Розрахунок на міцність найбільш напружених деталей.**

#### **Розрахунок пуансонів на міцність та жорсткість**

Найчастіше поломки кінців пуансонів малого діаметра є наслідком недостатньої жорсткості пресу та пружної деформації його станини. Для подолання таких поломок необхідно відійти від правила вибору пресу точно за розрахунковими зусиллями і вибирати преси більшого номінального зусилля, але з більш жорсткою станиною.

Розрахунок опорної поверхні головки пуансона на зминання:

$$\sigma_3 = \frac{P}{F} = \frac{1282}{4,072} = 314,8 \text{ Па},$$

де  $P$  – зусилля витяжки;

$$F = \frac{\pi D_{\text{вн.заг}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,072^2}{4} = 4,072 \text{ м}^2,$$

де  $F$  – площа опорної поверхні головки пуансону, діаметр якої має дорівнювати внутрішньому діаметру заготовки після витяжки.

Якщо  $\sigma_3 < 10 \text{ кПа}$ , то необхідність використання стальної гартованої прокладки відпадає.

Розрахунок пуансону на стиск у перетині:

$$\sigma_3 = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_{\text{ст}},$$

де  $\sigma_{\text{ст}} = 39 \text{ кПа}$  – допустиме напруження на стиск для сталі 08.

Дивлячись на розрахунок  $\sigma_3 = 314,8 \text{ Па} \leq [\sigma]_{\text{ст}} = 39 \text{ кПа}$ .

Умова виконується, отже обладнання вибрано вірно.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## А.2 Розрахунок припусків на обробку торця ковпачка 50h7

Метою розрахунку є визначення міжопераційних припусків і допусків на обробку поверхні 50h7

Поверхню одержуємо штампуванням на заготівельній операції.

Маршрут обробки містить у собі: точіння чорнове по  $h10$  і точіння чистове по  $h7$ .

Розрахунок виконуємо відповідно до рекомендацій [4].

Розрахунок мінімальних значень припусків проводимо по формулі:

$$z_{\min i} = R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2},$$

де  $R_{zi-1}$  – висота нерівностей профілю на попередньому переході,

$h_{i-1}$  – глибина поверхневого дефектного шару на попередньому переході,

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні на попередньому переході,

$\varepsilon_i$  – похибка установки заготовки.

Мінімальні розрахункові припуски розраховуємо за формулою:

– чорнове точіння:

$$\begin{aligned} z_{\min I} &= R_{z0} + h_0 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 0}^2 + \varepsilon_I^2} = \\ &= 320 + 350 + \sqrt{800^2 + 500^2} = 1613 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де  $R_{z0} = 320$  мкм;  $h_0 = 350$  мкм [19] – для листового штампування.

Сумарне відхилення розташування поверхні на переході виготовлення заготовки визначаємо за формулою:

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_{\Sigma 0} = \sqrt{\Delta_{\text{жол}}^2 + \Delta_{\text{зм}}^2} = \sqrt{0,63^2 + 0,5^2} = 0,8 \text{ мм},$$

де  $\Delta_{\text{жол}}$  - для поковок товщиною від 50 до 120 мм виготовлених

штампуванням;  $\Delta_{\text{жол}} = 0,63 \text{ мм}$  [4];

$\Delta_{\text{зм}}$  - для поковок товщиною від 50 до 120 мм виготовлених штампуванням;  $\Delta_{\text{зм}} = 10 \text{ мм}$  [4].

– чистове точіння, мкм:

$$\begin{aligned} z_{\min 2} &= R_{z1} + h_1 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 1}^2 + \varepsilon_y^2} = \\ &= (25 + 25 + \sqrt{48^2 + 0}) = 98 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де  $R_{z1} = 25 \text{ мкм}$ ;  $h_1 = 25 \text{ мкм}$  [4] – для штампованих поковок після механічної обробки для 10-11 квалітету.

Сумарне відхилення розташування поверхні після чорнової обробки:

$$\Delta_{\Sigma 1} = \Delta_{\Sigma 0} \cdot K_y = 0,8 \cdot 0,06 = 0,048 \text{ мм},$$

де  $K_y = 0,06$  [19];

$\varepsilon_{y2} = 0$ , (без переустановки) [4];.

Технологічні допуски:

$T_{\text{заг}} = 2 \text{ мм}$  (по кресленню заготовки);

$T_{\text{чорн}} = 0,3 \text{ мм}$  (7 квал.) ;  $T_{\text{чист}} = 0,062 \text{ мм}$  (9 квал.) [4] – для розмірів заготовки від 80 до 120 мм.

Найменші граничні розміри:

$$d_{\min \text{чист}} = d_{\text{ном}} - ei = 50,3 - 0,3 = 50 \text{ мм};$$

$$d_{\min \text{чорн.}} = d_{\min \text{чист.}} + z_{\min \text{чист.}} = 50 + 0,42 = 50,42 \text{ мм},$$

$$d_{\min \text{заг.}} = d_{\min \text{чорн.}} + z_{\min \text{чорн.}} = 50,42 + 0,98 = 51,4 \text{ мм}.$$

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Округлені значення розмірів:

$$d_{\text{min чист.}} = 50 \text{ мм};$$

$$d_{\text{min чорн.}} = 50,42 \text{ мм};$$

$$d_{\min 3a2.} = 51,4 \text{ MM.}$$

Найбільші значення міжопераційних розмірів:

$$d_{\max \text{ чист.}} = d_{\min \text{ чист.}} - T_{\text{чист.}} = 50 - 0,03 = 49,970 \text{ мм};$$

$$d_{\max \text{ чорн.}} = d_{\min \text{ чорн.}} - T_{\text{чорн.}} = 50,42 - 0,12 = 50,3 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3a2.} = d_{\min 3a2.} + T_{3a2} = 51,4 + 3 = 54,4 \text{ мм.}$$

Максимальні розміри припусків:

$$z_{\max \text{ чорн.}} = d_{\max \text{ заг.}} - d_{\max \text{ чорн.}} = 54,4 - 50,3 = 4,1 \text{ мм};$$

$$z_{\max \text{ чист.}} = d_{\max \text{ чорн.}} - d_{\max \text{ чист.}} = 50,3 - 49,970 = 0,33 \text{ мм.}$$

### Мінімальні розміри припусків:

$$z_{\min \text{ чорн}} = d_{\min \text{ зар}} - d_{\min \text{ чорн}} = 51,4 - 50,42 = 0,98 \text{ мм};$$

$$z_{\text{мин чист}} = d_{\text{мин черн}} - d_{\text{мин чист}} = 50,42 - 50 = 0,42 \text{ мм.}$$

Сумарні розміри припусків:

$$z_{\min} = 0,98 + 0,42 = 1,4 \text{ мм};$$

$$z_{\max} = 4,1 + 0,33 = 4,43 \text{ MM.}$$

Результати розрахунку подані в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Розрахунок припусків і допусків на поверхню  $\varnothing 50h7$

Технол. переходи	Элементи припуску, мкм				Розр. $Z_{min}$ , мкм	Розрах $d_{min}$ , мм	Допуск, Т, мкм	$d_{min}$	$d_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$
	$R_z$	h	$\Delta_\Sigma$	$\varepsilon$							

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Продовження таблиці А.1

Загот овка	320	350	800	500	'	51,4	3000	51,4	54,4	'	'
Чоно ве точін ня	25	25	48	0	980	50,42	120	50,42	50,3	0,98	4,1
Чисто ве точін ня	'	'	'	'	420	50	30	50	49,97	0,42	0,33
										1,4	4,43

В даному випадку визначаємо номінальний припуск з врахуванням симетричності розташування поля допуску заготовки.

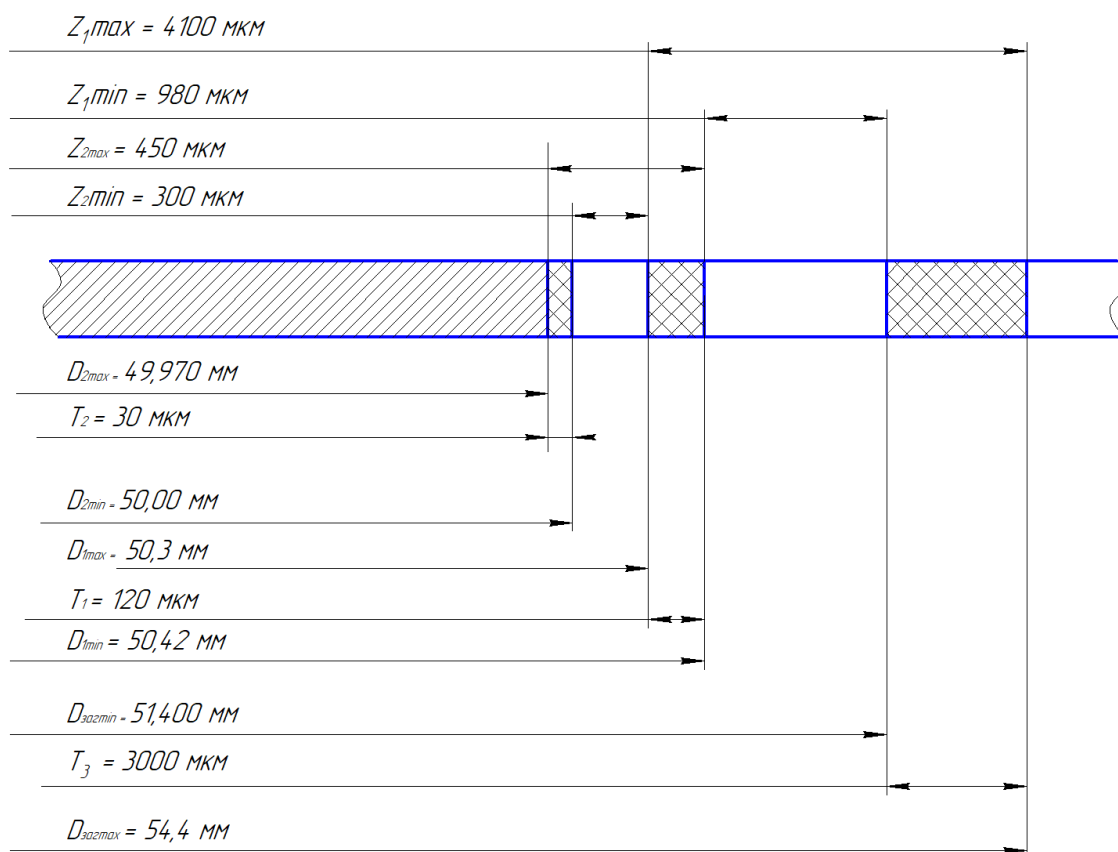


Рисунок А.4 – графічний спосіб визначення розмірів при переходах точіння торця ковпачка 50h7



### А.2.1 Розрахунок режимів різання

1) Розточити поверхню торця 50h7.

Глибина різання:  $t_{\text{чорн}} = 1,2$  мм, подача  $s_{\text{чорн}} = 0,6$  мм/об [5].

Період стійкості різця з врахуванням напівавтоматичного режиму різання станка приймаємо підвищену:  $T = 90$  хвилин.

Швидкість різання:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot 60} \cdot K_V = \frac{620}{90^{0,2} \cdot 1,2^{0,15} \cdot 0,6^{0,2} \cdot 60} \cdot 0,42 = 1,9 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 114 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де коефіцієнти  $C_V, x, y, m$  – табличні значення [5], для сталюого литва і різця з твердим сплавом:  $C_V = 620$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,2$ ,  $m = 0,2$ .

Коефіцієнт швидкості розраховується за формулою [5]:

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r = 1,0 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,42,$$

де  $K_{mv} = 1,0$  – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

$K_{nv} = 0,65$  – коефіцієнт, який враховує стан обробленої поверхні;

$K_{uv} = 0,7$  – коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\varphi} = 0,97$  – коефіцієнт, який враховує кут у плані;

$K_r = 0,94$  – коефіцієнт, який враховує радіус ріжучої кромки інструменту.

Частота обертання:

$$n_{\text{чорн}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 114}{3,14 \cdot 60} = 605 \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

Кінцеве значення, яке приймаємо:

$$n_{\text{чорн}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

тоді

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{чорн}} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 600}{1000} = 113 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Хвилинна подача:

$$S_{\text{м}} = S \cdot n = 0,6 \cdot 600 = 360 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}.$$

Сила різання:

$$P_{Z\text{чорн}} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 0,9^1 \cdot 0,36^{0,75} \cdot 113^{-0,15} \cdot 0,75 = 463 \text{ Н},$$

де  $C_p, x, y, n$  – табличні значення [5] для сталюого литва і різця з твердим сплавом :  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ .

Коефіцієнт  $K_p$  являє собою множення ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{γр}} \cdot K_{\text{λр}} \cdot K_{\text{гр}} = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

де  $K_{\text{мр}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{γр}} \cdot K_{\text{λр}} \cdot K_{\text{гр}}$  – коефіцієнти, які враховують фактичні умови різання.

Значення цих коефіцієнтів табличні [5].

Потужність різання:

$$N_{\text{чорн}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{463 \cdot 113}{1020 \cdot 60} = 855 \text{ Вт}.$$

#### А.2.2 Розрахунок режимів різання при розсвердлюванні отвору Ø 10,5

Матеріал який оброблюється – сталь 08Х13.

Глибина різання:

$$t = 0,5(D - d) = 0,5 \cdot (10,5 - 0) = 5,25 \text{ мм},$$

де  $D=10,5$  мм – діаметр отвору в деталі;  $d=0$  мм – діаметр отвору в заготовці.

З подач, що рекомендуються призначаємо  $S_0=1,2$  мм/об. Приймаємо період стійкості інструмента  $T=45$  хв. [6].

Швидкість різання, яка допускається періодом стійкості інструмента:

					ЛН71м.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$V_I = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_0^y} \cdot k_V = \frac{18 \cdot 10,5^{0,6}}{45^{0,25} \cdot 5,25^0 \cdot 1,2^{0,3}} \cdot 0,65 = 26,9 \frac{\text{м}}{\text{хв}},$$

де  $C_V = 18,0$ ;  $q = 0,6$ ;  $y = 0,3$ ;  $m = 0,25$ ;  $k_V = 0,65$

Обертний момент:

$$M_{об} = 10C_M \cdot D^q \cdot t^x S^y \cdot k_P = 10 \cdot 0,09 \cdot 10,5^1 \cdot 5,25^{0,8} \cdot 1,2^{0,65} \cdot 0,76 = 30,47 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

Значення коефіцієнтів та показників степеня

$$C_M = 0,09; q = 1,0; y = 0,65;$$

$k_P$  – коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки,  $k_P = 0,68$ .

де  $n$  – частота обертання сверла:

$$n = \frac{1000 \cdot V_0}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 26,9}{3,14 \cdot 10,5} = 815,9 \text{ об/хв}$$

По станку підбираємо наближене значення  $n_\phi = 820$  об/хв тоді фактична швидкість різання:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 820}{1000} = 27,04 \text{ м/хв}.$$

Потужність різання:

$$N_C = \frac{M_{об} \cdot n_\phi}{9750} = \frac{30,47 \cdot 820}{9750} = 2,56 \text{ кВт}.$$

По паспортним даним, потужність станка  $N_{кр} = 3$  кВт.

Приймаємо наступні значення:  $t = 6$  мм,  $S_0 = 1,2$  мм/об,  $n_\phi = 820$  об/хв,  $V_\phi = 27$  м/хв,  $N = 3$  кВт.

$$\text{Хвилинна подача } S_{XB} = 1,2 \cdot 820 = 984 \text{ мм/хв}.$$

### А.2.3 Розрахунок норми часу на розсвердлення отвору Ø10,5

Штучно – калькуляційний (основний) час на свердління:

					ЛН71м.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$T_0 = \frac{l + l_{BP} + l_{ПЕР}}{S_{XB}} = \frac{2 + 3 + 0}{984} = 0,005 \text{ хв.}$$

де  $l = 2 \text{ мм}$  – довжина поверхні, яка оброблюється;

$l_{BP} = 3 \text{ мм}$  – довжина врізання;

$l_{ПЕР} = 0$  – довжина перебігу інструменту.

Норми допоміжного часу визначені з довідників або за нормативами і зведені в таблицю А.2.

Таблиця А.2 Норми допоміжного часу

№ п/п	Найменування дії оператора	Норма часу
1	Очистити пристрій від стружки	0,09
2	Встановити та зняти заготовку	0,4
3	Закріпити та відкріпити заготовку	0,1
Всього		0,59

Для одного отвору:  $T_{ц.к.} = 0,005 + 0,59 = 0,6 \text{ хв.}$

## Висновки

1. Розроблено технологічний процес виготовлення ковпачка.
2. Проаналізовано службове призначення деталі і умови її роботи у вузлі.
3. Обрано і обґрунтовано заготовку.
4. Розроблено технологічний процес виготовлення деталі.
5. Розраховано зусилля витяжки.
6. Розраховано припуски на обробку торця.
7. Розраховано режими різання торця та розсвердлювання отвору.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Методические указания к расчету припусков по дисциплине "Технология машиностроения" для студентов специальности 0501/ Сост. В.В. Душинский и др.- К.: КПИ, 1986. -72 с.
2. Справочник: Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении/ Косилова А.Г., Мерещяков Р.К., Калинин М.А. – М.: Машиностроение, 1976. - 288 с.
3. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти ступеня "магістр" спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізація Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв з дисципліни "Технологія виготовлення та монтаж обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв": [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. Двойнос Я.Г. – Київ: НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2017. – 34 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. – Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 495 с.
6. Станочные приспособления: справочник. Е. 1 / под ред. Б.И. Вардашкина и А.А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – 591 с.
7. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков // М.А. Ансеров. – М.: Машиностроение, 1975. – 656 с.
8. ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей.

					ЛН71мп.066211.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

**Додаток Б**

**Автоматизація ректифікаційної установки**

					ЛН71мп.065152.000 ПЗ	Арк.
						197
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додаток Б Автоматизація ректифікаційної установки

### Зміст

Вступ.....	2
Б.1 Характеристика технологічного процесу .....	3
Б.2 Особливості технологічного об'єкту керування як об'єкту автоматизації .....	5
Б.3 Автоматизація технологічного процесу .....	6
Б.3.1 Система автоматичного контролю.....	6
Б.3.2 Система автоматичного регулювання .....	6
Б.3.3 Система сигналізації та захисту .....	7
Б.3.4 Дистанційне керування .....	8
Б.4 Специфікація на прилади і ТС автоматизації.....	9
Висновки щодо виконання поставлених задач автоматизації .....	11
Перелік посилань .....	12

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Автоматизація ректифікаційної установки	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Мішуков С.Г.						
Пров.		Степанюк А.Р.					1	12
Реценз.						КПІ, ім. Ігоря Сікорського ІХФ, каф. МАХНВ		
Н. контр.								
Утв.								



## Вступ

Автоматизація виробничих процесів є одним з основних напрямків технологічного прогресу виробництва.

Розв'язання задач вдосконалення технологічних процесів являє собою зростання ролі автоматизації, засобів контролю та стабілізації технологічних параметрів, а також забезпечення безперервної роботи технологічного обладнання.

Система автоматичного контролю служить для прийняття інформації про хід процесу. Ця інформація реалізується в показаннях приладів, сигналізації. В основі роботи будь-якої автоматичної системи контролю лежить процес вимірювання контрольованої величини.

Автоматизація дозволяє збільшити продуктивність технологічного обладнання та продуктивність праці обслуговуючого персоналу, покращує якість продукції, підвищує безпечність роботи, а також дозволяє здійснити нові високої інтенсивні процеси, які недоступні під час керування процесом вручну.

Автоматизація технологічних процесів пов'язана не тільки з вдосконаленням виробництва і покращенням умов праці, але і з підвищенням його рентабельності за рахунок покращення техніко – економічних показників і зниження матеріальних і трудових затрат.

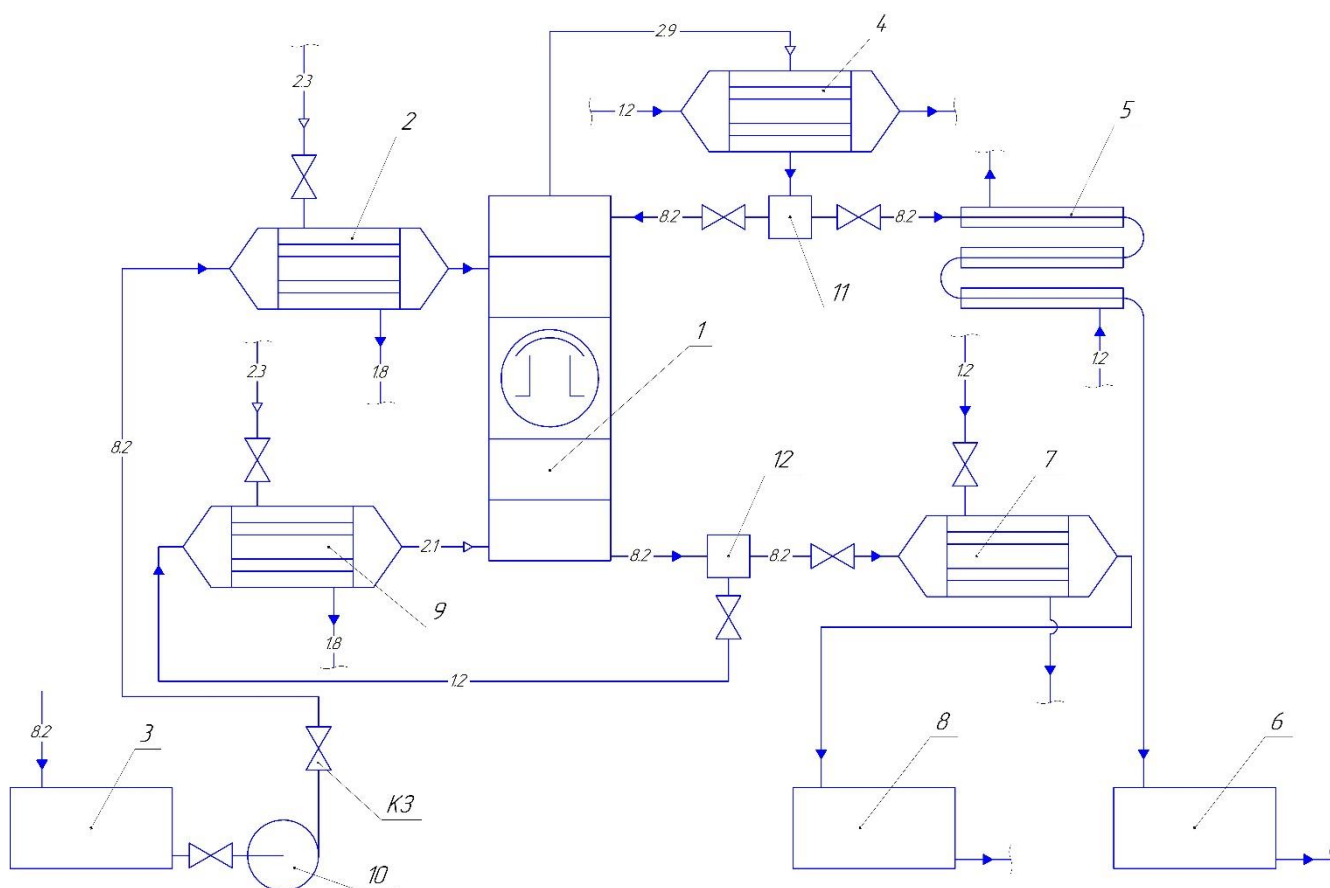
Під час процесу ректифікації важливим фактором є досягнення та підтримання температурного режиму процесу. Розділення метанолу та води відбувається при температурі 337 К.

Суміш метанолу та води, яку необхідно розділити надходить у ректифікаційну колону з нагрівача. Тому задачею автоматизованої системи керування є подача суміші із заданою температурою, при забезпеченні захисту технологічного процесу.

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

### Б.1 Характеристика технологічного процесу

Технологічна схема процесу ректифікації показана на рисунку Б.1, працює наступним чином.



1 – ректифікаційна колона; 2 – нагрівач; 3 – ємність для вихідної суміші; 4 – дефлегматор; 5 – теплообмінник «труба в трубі»; 6,8 – збірники; 7 – холодильник кубового залишку; 9 – кип'ятильник; 10 – насос; 11 – розподільувач флегми; 12 – сепаратор.

Рисунок Б.1 – Технологічна схема процесу ректифікації

Вихідна суміш з ємності 3 насосом 10 подається в нагрівач 2, де нагрівається водяною парою до температури кипіння, а далі – у ректифікаційну колону 1. В ректифікаційній колоні 1 відбувається розділення компонентів на висококиплячий і низькокиплячий компоненти. В нижню частину колони стікає рідина, що

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

майже повністю складається з висококиплячого компонента. Частина її (кубовий залишок) безперервно відводиться, а інша частина випарюється за рахунок граючої пари, що підводиться з кип'ятильника 9. В дефлегматорі 4 частина пари конденсується і вертається у колону 1, де стікає зверху вниз у вигляді флегми. Друга частина пари подається у теплообмінник 5, де вона конденсується і отриманий дистилят охолоджується. Продукти процесу ректифікації (кубовий залишок і дистилят) збираються у збірниках 8 і 6, відповідно.

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **Б.2 Особливості технологічного об'єкту керування як об'єкту автоматизації**

Процес автоматизації виробництва по даній схемі здійснюється шляхом контролю і регулювання параметрів.

Перелік параметрів, які підлягають технологічному контролю:

- 1) рівень суміші в ємностях;
- 2) температура на вході та виході із теплообмінників;
- 3) температура на вході та виході із ректифікаційної колони;

Перелік параметрів, які підлягають автоматичному регулюванню:

- 1) рівень суміші в ємностях;
- 2) температура на вході та виході із теплообмінників;
- 3) температура на вході та виході із ректифікаційної колони;

Перелік параметрів, які підлягають сигналізації та захисту:

- 1) рівень суміші в ємностях;
- 2) температура на вході та виході із теплообмінників;
- 3) температура на вході та виході із ректифікаційної колони;

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **Б.3 Автоматизація технологічного процесу**

#### **Б.3.1 Система автоматичного контролю**

Перший контур контролює подачу суміші до теплообмінника. Для вимірювання витрати суміші використовується діафрагма (поз.1-1), передавач сигналу (поз. 1-2), реєструючий прилад (поз. 1-3).

Другий контур контролює температуру суміші перед входом у ректифікаційну колону та на виході із теплообмінника. Для вимірювання температури суміші використовується термопара хромель-капелива (поз. 2-1, поз. 7-1, поз. 8-1), нормуючий перетворювач (поз. 2-2, поз. 7-2, поз. 8-2), вторинний реєструючий, показуючий прилад (поз. 2-3, поз. 7-3, поз. 8-3).

Третій контур контролює температуру на виході із ректифікаційної колони. Контур складається із термопара хромель-капелива (поз. 3-1), нормуючий перетворювач, вторинний реєструючий, показуючий прилад (поз. 2-3, поз. 7-3, поз. 8-3).

Четвертий контур контролюється переміщенням суміші із теплообмінників до збірних ємностей. Для вимірювання переміщення суміші використовується діафрагма (1-1), передавач сигналу (поз. 1-2), реєструючий прилад (поз. 1-3).

#### **Б.3.2 Система автоматичного регулювання**

В першому контурі здійснюється автоматичне регулювання витрати суміші, що надходить до теплообмінника. Для вимірювання витрати суміші використовується діафрагма (поз.1-1), передавач сигналу (поз. 1-2), реєструючий прилад (поз. 1-3), регулятора (поз. 1-4), байпасної панелі управління (поз. 1-5), перетво-

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

рювача сигналу узгоджую чого (поз.1-6) та мембранного виконавчого механізму (поз. 1-7).

В другому контурі здійснюється автоматичне регулювання температури суміші на вході до ректифікаційної колони та виході із теплообмінника. Для вимірювання температури суміші використовується термopара хромель-капельова (поз. 2-1), нормуючий перетворювач (поз. 2-2), вторинний реєструючий, показуючий прилад (поз. 2-3), регулятор (поз. 2-4), байпасна панель управління (поз. 2-5), перетворювач сигналу узгоджуючий (поз.2-6) .

В технологічній схемі процесу ректифікації необхідно регулювати рівень заповнення ємностей рідинами.

Контур контролюється за допомогою дифманометру типу (позиція 3-1), вторинний, показуючий прилад типу (позиція 3-2), реєструє значення рівня, і далі інформація поступає на регулятор рівня речовини типу (позиція 3-3), де порівнюється із заданим значенням, що формується задавачем типу (позиція 3-4). Функції цієї різниці, а також алгоритму керування виробляють керуючий вплив на станцію управління типу (позиція 4-2). Який дає команду на рівень заповнення збірних ємностей і подає сигнал на магнітний пускач типу (позиція 4-1). Вмикається виконавчий механізм на збільшення чи зменшення відкриття клапану.

### **Б.3.3 Система сигналізації та захисту**

Система сигналізації працює слідуючим чином. Якщо в автоматичному контурах які захищаються (2, 4, 6, 8) значення перевищує допустиму норму робочого параметра, то вмикається автоматична сигналізація. У тому випадку якщо поточне значення перевищує критичну норму, то вмикається захист, після чого сигнал з показуючого та сигналізуючого приладу типу потрапляє на контури захисту (3, 5, 7, 9) .

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Також цих контурах присутня візуальна сигналізація, що представлена електричними лампочками.

#### **Б.3.4 Дистанційне керування**

В контурах №1, 13, 14, 15, 16 використовується магнітний пускач (позиції МП1 – МП6) типу, який призначений для дистанційного керування, а також установка на щиті автоматики (ключ керування) для відповідного включення чи виключення насосу.

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Б.4 Специфікація на прилади і ТС автоматизації

Таблиця Б.1 – Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

№ позиції на схемі	Найменування параметра	Місце установки	Найменування, характеристики приладу	Кількість
1	2	3	4	5
2 – 1, 7 – 1, 8 – 1	Вимір температури	За місцем	Термопара хромель-капелива	3
2 – 2, 7 – 2, 8 – 2	Вимір температури	За місцем	Нормуючий перетворювач	3
2 – 3, 7 – 3, 8 – 3	Вимір температури	На щиті	Вторинний реєструючий, показуючий прилад	3
1 – 1	Витрата повітря	За місцем	Діафрагма	1
1 – 2	Витрата речовини	За місцем	передавач сигналу	1
1 – 3	Витрата речовини	На щиті	Вторинний реєструючий, показуючий прилад	1
1 – 5	Витрата речовини	На щиті	Байпасна панель управління	1
1 – 4, 2 – 4	Вимір швидкості	На щиті	Регулятор	2
1 – 6	Витрата повітря	На щиті	Перетворювач сигналу узгоджуючий	1
5 – 1, 9 – 1	Витрата речовини	За місцем	Датчик кута повороту	2
5 – 2, 9 – 2	Витрата речовини	На щиті	Нормуючий перетворювач	2



Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
5 – 3, 9 – 3	Витрата речовини	На щиті	Вторинний реєструючий, показуючий прилад	2
3 – 1	Вимірювання рівня в реакторі	За місцем	Електричний рівномір. Призначений для вимірювання рівня води	1
3 – 2	Вторинний показуючий і реєструючий пристрій	На щиті	Вторинний прилад	1
3 – 3	Регулятор рівня	На щиті	Релейний регулюючий блок	1
3 – 4	Задавач	На щиті	Потенціометричний задаючий пристрій	1
3 – 5	Суматор	На щиті	Сумування сигналів з різних датчиків	1
4 – 1, 6 – 1	Релейний регулятор	На щиті	Блок керування релейного регулятора	1
1 – 7, 4 – 2, 6 – 2	Витрата речовини	За місцем	Мембранний виконавчий механізм	1
NS МП1- МП9		За місцем	Магнітний пускач	5
Н SB 1,3,5, 7, 9, 11		На щиті	Кнопковий вмикач	5
HSA SB 2,4,6,8, 10, 12		На щиті	Кнопковий вимикач жи- влення	5
HL 1...20	Електричний. струм	На щиті	Лампа в арматурі з лін- зою	12

## Висновки щодо виконання поставлених задач автоматизації

В магістерській дисертації розроблено схему автоматизації ректифікаційної установки. Підібрані прилади та устаткування для роботи установки.

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсів «Технологічні вимірювання і прилади», «Автоматизація виробничих процесів», «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами»: – У 2 ч. / Уклад.: М. В. Лукінюк, П. М. Сташкевич, В. О. Самсонов. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. – Ч. 1. – 92 с.

					ЛН71мп.065152.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **Додаток В**

### **Документація до патентного дослідження**

## РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН71мп.065152 РП

Найменування теми Теплообмінник

Шифр теми ЛН71мп.065152.001

Етап Проектування теплообмінника та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень ЛН71мп.065152,  
18.09.2018

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – теплообмінник.

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо теплообмінника (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці)

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Німеччина, Росія.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 22 роки, регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 рр.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація:

МПК – C02F 1/04, 1/12, C07C 37/68; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 665.612.2

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології теплообміну, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 18.09.2018

Закінчення пошуку 28.09.2018

Таблиця В.1 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Теплообмінник	Визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США, Росія, Німеччина	МПК – CO2F 1/04, 1/12, C07C 37/68; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00.  УДК 665.612.2	2017 – 2018	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; УРЖ “Джерело” (1995–2006 рр.). Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с.

## ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛН71мп.065152 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛН71мп.065152, 18.09.2018.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:  
ЛН71мп.065152, 24.09.2018.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛН71мп.065152, 25.09.2018.

Початок пошуку: 25.09.2018 Закінчення пошуку: 28.09.2018

Таблиця В.2 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	Відо- мості щодо їхньої дії
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Теплообмін- ник	Патент №36108 (UA), МПК (2006) F28D 7/10. Теплообмінник типу «труба в трубі» / Дейнеко Андрій Іванович, (UA), Голубєв Олексій Борисович, (UA), Барабаш Петро Олексійович, (UA). Заявка № u 2017 06895, 19.05.2017; Опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.	Діє
Теплообмін- ник	Патент №65606 (UA), МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Зубрій Олег Григорович, (UA), Лисенко Даніїл Миколайович, (UA), Мікульонок Ігор Олегович, (UA). Заявка № u 2017 06253, 19.05.2017; Опубл. 12.12.2017, Бюл. № 23.	Діє
Теплообмін- ник	Патент №93493 (UA), МПК (2006.01) B29L 31/18, B21C 37/22. Теплообмінник типу «труба в трубі» / Арди́ковський Олексій Вікторович, (UA), Степанюк Андрій Романович, (UA). Заявка № u 2016 01464, 14.02.2016; Опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.	Діє
Теплообмін- ник	Patent №1431693 (JP), F28D 7/10, F28F 1/06, F28F 1/00. Double-pipe heat exchanger / Kusatsu-shi Shiga, (JP), Neyagawa-shi Osaka, (JP), Sakata-gun Shiga, (JP). Filing № 03028294.1, 10.12.2016; Publication 23.06.2017.	Діє
Теплообмін- ник	Patent №2787314 (JP), F28D 7/06, F25B 40/00. Double-pipe heat exchanger / Osaka-shi, (JP). Filing № 12852894.0, 08.10.2018; Publication 06.11.2018.	Діє



Таблиця В.3 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Теплообмінник	Україна, США, Німеччина Японія, Росія	МПК – CO2F 1/04, 1/12, C07C 37/68; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00. УДК 665.612.2	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://ukrpatent.org/">http://ukrpatent.org/</a>	Описи винаходів патентів України Описи корисних моделей патентів України Офіційний бюлетень "Промислова власність" Офіційні бюлетені Інтернет-сайти Укрпатенту, Європейського патентного відомства, патентного відомства США	Журнали "Химическое, нефтеперерабатывающее и полимерное машиностроение", УРЖ "Хімічна промисловість України" А. Г. Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 756 с Плановский А.Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии М.: Химия, 1972. - 496 с

## РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН71мп.066211 РП

Найменування теми Ректифікаційна колона

Шифр теми ЛН71мп.066211.001

Етап Проектування ректифікаційної колони та її складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень  
ЛН71мп.066211, 18.09.2018

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – ректифікаційна колона.

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо ректифікаційної колони (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Німеччина, Росія.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 22 роки, регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2018 рр.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація:

МПК – F28F 1/00, 1/10, 1/40, 1/36, 3/00, 3/02, 3/04, 3/08, 9/02, 9/00, 9/013; 13/14, F26D 7/00, F28D 7/00, 9/00, 9/02, 9/26.

Уніфікована десяткова класифікація УДК 665.612.2

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту. 2) Науково-технічна інформація: монографії з технології тепло та масообміну, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

Початок пошуку 18.09.2018

Закінчення пошуку 28.09.2018

Таблиця В.4 – Регламент пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Ректифікаційна колона	Визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США, Росія, Німеччина	МПК – F28F 1/00, 1/10, 1/40, 1/36, 3/00, 3/02, 3/04, 3/08, 9/02, 9/00, 9/013; 13/14, F26D 7/00, F28D 7/00, 9/00, 9/02, 9/26.  УДК 665.612.2	2017 – 2018	Національний й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей; УРЖ “Джерело” (1995–2006 рр.). Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с.

## ДОВІДКА ПРО ПОШУК № ЛН71мп.066211 ДП

Завдання на проведення патентних досліджень: ЛН71мп.066211,  
18.09.2018.

Етап: проектування апарата та його складових частин.

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень:  
ЛН71мп.066211, 24.09.2018.

Номер, дата регламенту пошуку: ЛН71мп.066211, 25.09.2018.

Початок пошуку: 25.09.2018 Закінчення пошуку: 28.09.2018

Таблиця В.5 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Ректифікаційна колона	Патент №54918 (UA), МПК (2009) B01D 3/14. Ректифікаційна колона / Михалюк Олександр Миколайович, (UA), Гатілов Костянтин Олександрович, (UA), Ракицький Віталій Леонідович (UA). Заявка № u 2016 07172, 10.06.2016; Опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент №95134 (UA), МПК (2006.01) B01D 3/00, B01D 3/32. Ректифікаційна колона / Муляр Віталій Петрович, (UA). Заявка № u 2017 07364, 01.07.2017; Опубл. 10.12.2017, Бюл. № 23.	Діє
Ректифікаційна колона	Патент №33453 (UA), МПК (2008.01) B01D 3/16. Ректифікаційна колона / Новосельцев Олександр Олександрович, (UA), Лавренко Юлія Олексіївна, (UA). Заявка № u 2016 01440, 04.02.2016; Опубл. 25.06.2016, Бюл. № 12.	Діє
Ректифікаційна колона	Patent №6,514,387 (US), B01D 3/36, B01D 3/40. Rectifying column / Gerd Emmrich, (DE), Barbel Kolbe, (DE), Helmut Gehrke, (DE), Frank Ennenbach, (DE), Uwe Ranke, (DE). Filing № PCT/EP99/07285, 10.01.2017; Publication 05.11.2018.	Діє
Ректифікаційна колона	Patent №6,554,965 (US), B01D 3/00, B01D 47/00. Rectifying column / Horst Hartmann, (DE), Wolfram Burst, (DE), Wulf Kaiser, (DE), Harald Laas, (DE), Paul Grafen, (DE), Bernhard Bockstiegel, (DE), Kai-Uwe Baldenius, (DE). Filing № PCT/EP96/02850, 20.12.2016; Publication 29.06.2017.	Діє

Таблиця В.6 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його скл. част.)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Ректифікаційна колона	Україна, США, Німеччина, Японія, Росія	МПК – F28F 1/42, 1/10, 1/22, 1/36, 9/02, 9/00, 9/013; F26D 7/00, 7/10, 1/047, 7/16 УДК 665.612.2	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://ukrpatent.org/">http://ukrpatent.org/</a>	Описи винаходів патентів України Описи корисних моделей патентів України Офіційний бюлетень "Промислова власність" Офіційні бюлетені Інтернет-сайти Укрпатенту, Європейського патентного відомства, патентного відомства США	Журнали "Химическое, нефтеперерабатывающее и полимерное машиностроение", УРЖ "Хімічна промисловість України" А. Г. Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 756 с Плановский А.Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии М.: Химия, 1972. - 496 с

## **Додаток Г**

### **Комп'ютерний розрахунок фланцевого з'єднання теплообмінника**

## Г.1 Алгоритмічна схема перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

Комп'ютерний розрахунок подано в програмі Mathcad.

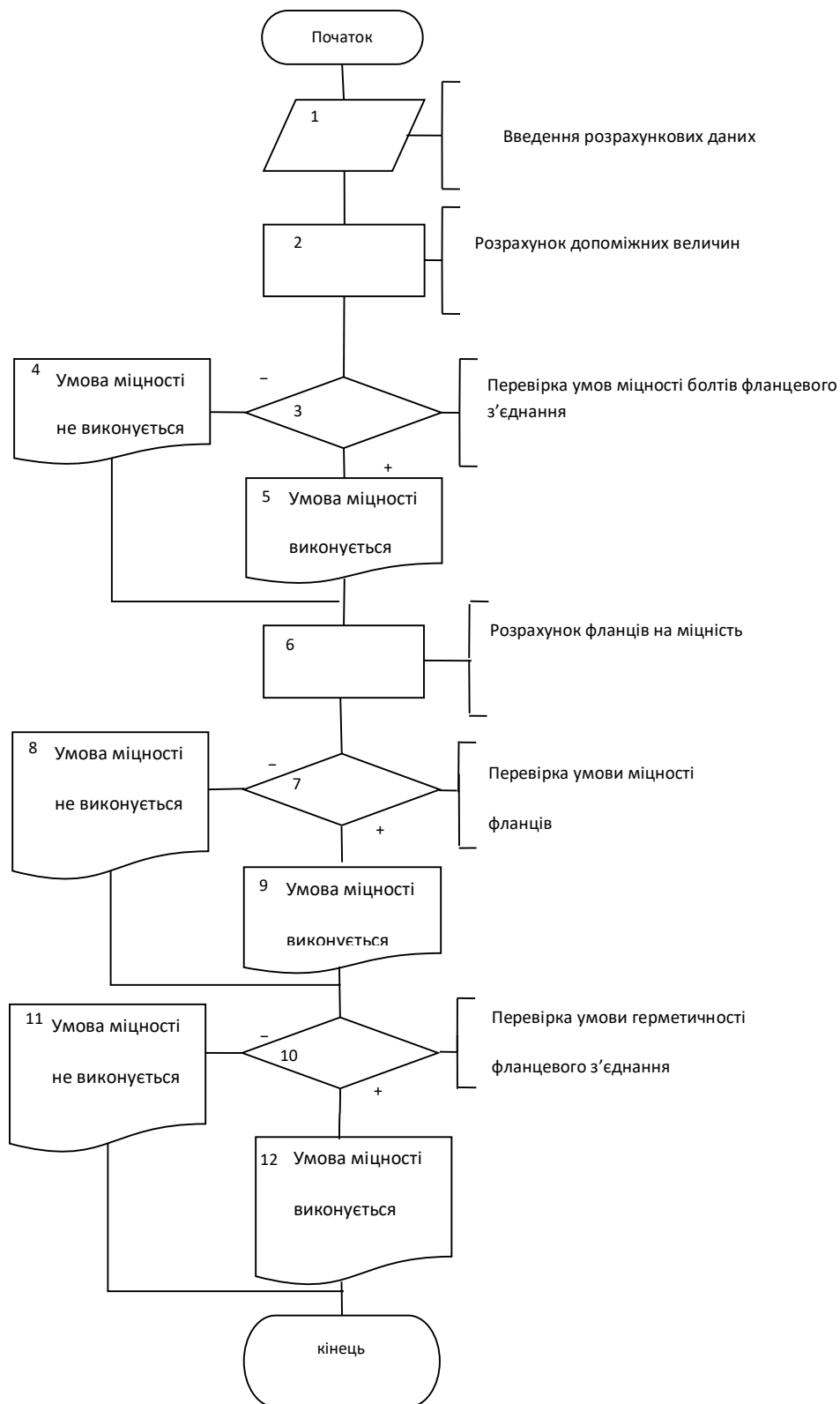


Рисунок Г.1 – Алгоритмічна схема перевірного розрахунку фланцевого з'єднання



У блоці 1 вводяться дані, необхідні для розрахунку, а в блоці 2 проводиться розрахунок допоміжних величин, та розрахунок болтів фланцевого з'єднання, після чого перевіряються умови міцності болтів. Якщо хоча б одна умова не виконується виводиться повідомлення «умови міцності не виконується», в іншому випадку виводиться повідомлення «умови міцності виконується» (блоки 5-5).

В блоці 6 виконується розрахунок фланців на міцність. Потім перевіряється умови міцності. Якщо умови не виконується виводиться повідомлення «умови міцності не виконується», в іншому разі виводиться повідомлення «умови міцності виконується» (блоки 7-9).

Далі перевіряється умови герметичності. Якщо умова не виконується виводиться повідомлення «умови герметичності не виконується», в іншому разі виводиться повідомлення «умови герметичності виконується» (блоки 10-12).

Якщо умови міцності та умови герметичності виконуються, то фланцеве з'єднання задовольняє умовам експлуатації апарату. В іншому разі необхідно вжити відповідних заходів (змінити матеріал фланців або болтів на матеріал з вищими механічними властивостями, збільшити кількість болтів, змінити матеріал та розміри прокладки тощо) і повторити перевірочний розрахунок.

## Г.2 Таблиця ідентифікаторів програми перевірного розрахунку фланцевого з'єднання

Таблиця Г.1 - ідентифікатори програми комп'ютерного розрахунку фланцевого з'єднання теплообмінника.

Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
1	2	3	4
Внутрішній надлишковий тиск	$p$	$p$	МПа
Діаметр фланця	$D_{\phi}$	$D_{\phi}$	м
Діаметр болтового кола	$D_B$	$D_B$	м
Зовнішній діаметр прокладки	$D_{\Pi}$	$D_{\Pi}$	м
Кількість болтів	$Z_B$	$Z_B$	
Діаметр різьби болта	$d_b$	$d_B$	м
Товщина першого фланця	$h_{\phi 1}$	$h_{\phi 1}$	м
Товщина другого фланця	$h_{\phi 1}$	$h_{\phi 2}$	м
Товщина прокладки	$h$	$h$	м
Ширина прокладки	$b$	$b$	м
Прокладочний коефіцієнт	$m$	$m$	
Питоме зусилля зминання прокладки	$q$	$q$	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців при $t=20^{\circ}$	$[\sigma_{\text{тф}}]^{20}$	$\sigma_{\text{дф}20}$	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців при розрахунковій температурі	$[\sigma_{\text{тф}}]^t$	$\sigma_{\text{дф}t}$	МПа
Модуль пружності матеріалу фланців при $t=20^{\circ}$	$E_{\phi 1}^{20}$	$E_{\phi 1}$	МПа
Модуль пружності матеріалу фланців при розрахунковій температурі	$E_{\phi 1}^t$	$E_{\phi 1t}$	МПа
Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланців	$\alpha_{\phi 1}^t$	$\alpha_{\phi t}$	$K^{-1}$

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4
Допустиме напруження болтів фланців при $t=20^\circ$	$[\sigma_B]^{20}$	$\sigma_{дб}$	МПа
Допустиме напруження матеріалу болтів при розрахунковій температурі	$[\sigma_B]^t$	$\sigma_{дбt}$	МПа
Модуль пружності матеріалу болтів при розрахунковій температурі	$E_B^t$	ЕБ	МПа
Коефіцієнт тертя	$f_1$	$f_1$	
Додаток до розрахункової товщини циліндричної обичайки	$C$	$C$	м
Коефіцієнт міцності зварного шва	$\varphi$	$\varphi$	
Відношення	$\beta$	$\beta$	
Середній діаметр прокладки	$D_{cn}$	$D_{сп}$	м
Ефективна ширина прокладки	$b_E$	$b_e$	м
Конструктивний коефіцієнт для фланця	$K_\phi$	$K_\phi$	
Конструктивний коефіцієнт для фланця	$\lambda_{\phi 1}$	$\lambda_{\phi 1}$	
Конструктивний коефіцієнт для фланця	$\lambda_{\phi 2}$	$\lambda_{\phi 2}$	
Поправковий коефіцієнт для фланця	$\psi_{1\phi}$	$\Psi_{1\phi}$	
Поправковий коефіцієнт для фланця	$\psi_{2\phi}$	$\Psi_{2\phi}$	
Поправковий коефіцієнт для перерізу $S_0$	$\Psi_3$	$\Psi_3$	
Геометричний параметр фланців	$j_{\phi 1}$	$j_{\phi 1}$	
Геометричний параметр фланців	$j_{\phi 2}$	$j_{\phi 2}$	
Безрозмірний параметр фланців	$T_\phi$	$T_\phi$	
Безрозмірний параметр фланців	$\omega_{\phi 1}$	$\omega_{\phi 1}$	
Безрозмірний параметр фланців	$\omega_{\phi 2}$	$\omega_{\phi 2}$	

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4
Кутова піддатливість фланців	$y_{\phi 1}$	$y_{\phi 1}$	1/НМ
Кутова піддатливість фланців	$y_{\phi 1}$	$y_{\phi 2}$	1/НМ
Розрахункова довжина болтів	$L_B$	LB	м
Лінійна піддатливість прокладки	$y_{\Pi}$	$y_{\Pi}$	м/НМ
Площа поперечного перерізу болта	$f_B$	fB	м <sup>2</sup>
Лінійна піддатливість болтів	$y_B$	$y_B$	м/НМ
Параметр жорсткості фланцевого з'єднання	$A_{\phi}$	Aφ	НМ/м
Параметри жорсткості фланця	$B_{\phi 1}$	Bφ1	1/ НМ
Параметри жорсткості фланця	$B_{\phi 2}$	Bφ2	1/ НМ
Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання	$\gamma$	$\gamma$	
Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання	$\alpha_{\phi}$	αφ	
Рівнодійна внутрішнього тиску	$Q_g$	Qд	МН
Реакція прокладок в робочих умовах	$R_n$	Rn	МН
Допоміжний символ		a	
Зусилля, що виникає від дії температурної деформації фланцевого з'єднання	$Q_{t\phi}$	Qtφ	МН
Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку	$P'_{B1}$	РБ11	МН
	$P''_{B2}$	РБ21	МН
	$P'''_{B3}$	РБ31	МН
Розрахункове монтажне болтове навантаження	$P_{B1}$	РБ1	МН
Болтове навантаження за робочих умов	$P_{B2}$	РБ2	МН
Розрахункове навантаження на болти	$P_{B\phi}$	РБФ	МН
Напруження розтягання болтів за умов монтажу	$\sigma_B^{20}$	σБ20	МПа
Напруження розтягання болтів за робочих умов	$\sigma_B^t$	σБt	МПа

Продовження таблиці Г.1

1	2	3	4
Скручуючий момент, що виникає при затягуванні гайок	$M_{скр}$	Мскр	МН·м
Дотичне напруження в болтах	$\tau_B$	$\tau_B$	МПа
Еквівалентне напруження в болтах	$\sigma_{BE}^{20}$	$\sigma_{B20}$	МПа
Еквівалентне напруження в болтах	$\sigma_{BE}^t$	$\sigma_{Bt}$	МПа
Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу	$M_{01\phi}$	М01Ф	МН·м
Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов	$M_{02\phi}$	М02Ф	МН·м
Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця	$M_{0\phi}$	М0Ф	МН·м
Розрахунковий діаметр	$D^*$	D	м
Максимальні напруження в перерізі $S_0$ фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$ ,	$\sigma_{0\phi 1}$	$\sigma_{0\phi 1}$	МПа
	$\sigma_{0\phi 2}$	$\sigma_{0\phi 2}$	МПа
Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$	$\sigma_{\kappa\phi 1}$	$\sigma_{\kappa\phi 1}$	МПа
	$\sigma_{\kappa\phi 2}$	$\sigma_{\kappa\phi 2}$	МПа
Еквівалентне напруження в перерізі циліндричної втулки фланців	$\sigma_{E\phi 1}$	$\sigma_{E\phi 1}$	МПа
	$\sigma_{E\phi 2}$	$\sigma_{E\phi 2}$	МПа
Кільцеві та меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску	$\sigma_{x\phi 1}$	$\sigma_{x\phi 1}$	МПа
	$\sigma_{y\phi 1}$	$\sigma_{y\phi 1}$	МПа
Допустиме напруження матеріалу фланців в переріз $S_0$	$[\sigma_{\phi 1}^{S_0}]$	$\sigma_{дф1S0}$	МПа

### Г.3 Програма та результати розрахунку фланцевого з'єднання теплообмінника

$$\begin{array}{llllll}
 D_{\pi} := 0.080 & D := 0.048 & D\phi := 0.130 & D\delta := 0.100 & p := 0.6 & S_0 := 0.004 \\
 h\phi 1 := 0.016 & E\phi 1 := 2 \cdot 10^5 & \alpha\phi t := 1.66 \cdot 10^{-5} & & P := 0.09 & \underline{C} := 0.00046 \\
 h\phi 2 := 0.016 & E\phi 2 := 2 \cdot 10^5 & & & q := 20 & \varphi := 0.9 \\
 & E_{\pi} := 2000 & \alpha\delta t := 1.12 \cdot 10^{-5} & & t\phi := 43.2 & b := 0.016 \\
 & E\delta := 1.96 \cdot 10^5 & & & t := 45 & h := 0.002 \\
 & E\phi 1 t := 2 \cdot 10^5 & & & d_0 := 0.00985 & \underline{m} := 2.5 \\
 & & & & & f_1 := 0.1 \\
 & & & & & d\delta := 0.012 \\
 & & & & & Z\delta := 4 \\
 \sigma d\delta := 540 & \sigma d\phi 20 := 520 & & & & \\
 \sigma d\delta t := 500 & \sigma d\phi t := 490 & & & & 
 \end{array}$$

Розрахунок допоміжних величин

$$\begin{array}{l}
 \beta := 1 \\
 D_{\pi} := D_{\pi} - b \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.080 - 0.016 = 0.064 \\
 b_e := 0.06 \cdot \sqrt{b} \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.06 \cdot \sqrt{0.016} = 7.589 \times 10^{-3} \\
 K\phi := \frac{D\phi}{D} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.130}{0.048} = 2.708 \\
 \lambda\phi 1 := \frac{h\phi 1}{\sqrt{D \cdot S_0}} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.016}{\sqrt{0.048 \cdot 0.004}} = 1.155 \\
 \lambda\phi 2 := \frac{h\phi 2}{\sqrt{D \cdot S_0}} \text{ explicit, AL} \rightarrow \frac{h\phi 2}{\sqrt{D \cdot S_0}} = 1.155 \\
 \Psi 1\phi := 1.28 \cdot \log(K\phi) \text{ explicit, ALL} \rightarrow 1.28 \cdot \log(2.708333333333335) = 0.554 \\
 \Psi 2\phi := \frac{(K\phi + 1)}{(K\phi - 1)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{2.708333333333335 + 1}{2.708333333333335 - 1} = 2.171 \\
 \Psi 3 := 1 \\
 j\phi 1 := \frac{h\phi 1}{S_0} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.016}{0.004} = 4 \\
 j\phi 2 := \frac{h\phi 2}{S_0} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.016}{0.004} = 4 \\
 T\phi := \frac{K\phi^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K\phi)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K\phi^2) \cdot (K\phi - 1)} \text{ explicit, ALL} \\
 \rightarrow \frac{2.708333333333335^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(2.708333333333335)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot 2.708333333333335^2) \cdot (2.708333333333335 - 1)} = 1.279
 \end{array}$$

$$\omega\phi1 := \left[ 1 + 0.9 \cdot \lambda\phi1 \cdot \left( 1 + \Psi1\phi \cdot j\phi1^2 \right) \right]^{-1} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \left[ 1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515 \cdot \left( 1 + 0.55385870711199947 \cdot 4^2 \right) \right]^{-1} = 0.089$$

$$\omega\phi2 := \left[ 1 + 0.9 \cdot \lambda\phi2 \cdot \left( 1 + \Psi1\phi \cdot j\phi2^2 \right) \right]^{-1} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \left[ 1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515 \cdot \left( 1 + 0.55385870711199947 \cdot 4^2 \right) \right]^{-1} = 0.089$$

$$y\phi1 := \frac{[1 - \omega\phi1 \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda\phi1)] \cdot \Psi2\phi}{h\phi1^3 \cdot E\phi1} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \frac{[1 - 0.088899792938490291 \cdot (1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515)] \cdot 2.1707317073170729}{0.016^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2.169$$

$$y\phi2 := \frac{[1 - \omega\phi2 \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda\phi2)] \cdot \Psi2\phi}{h\phi2^3 \cdot E\phi2} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \frac{[1 - 0.088899792938490291 \cdot (1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515)] \cdot 2.1707317073170729}{0.016^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 2.169$$

$$LB := h\phi1 + h\phi2 + h + 0.28 \cdot dB \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.016 + 0.016 + 0.002 + 0.28 \cdot 0.012 = 0.037$$

$$y\pi := \frac{h}{(\pi \cdot Dcn \cdot b \cdot En)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.002}{\pi \cdot 0.064 \cdot 0.016 \cdot 2000} = 3.108 \times 10^{-4}$$

+

$$fB := 0.785 \cdot d0^2 \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.785 \cdot 0.00985^2 = 7.616 \times 10^{-5}$$

$$yB := \frac{LB}{(EB \cdot fB \cdot ZB)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.037360000000000004}{1.96 \cdot 10^5 \cdot 7.6162662499999989E-05 \cdot 4} = 6.257 \times 10^{-4}$$

$$A\phi := \left[ y\pi + yB + 0.25 \cdot (y\phi1 + y\phi2) \cdot (DB - Dcn)^2 \right]^{-1} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \left[ 0.0003108494982263581 + 0.00062567483410246863 + 0.25 \cdot (2.169440800756457 + 2.169440800756457) \cdot (0.100 - 0.064)^2 \right]^{-1} = 426.927$$

$$B\phi1 := y\phi1 \cdot (DB - D - S0) \text{ explicit, ALL} \rightarrow 2.169440800756457 \cdot (0.100 - 0.048 - 0.004) = 0.104$$

$$B\phi2 := y\phi2 \cdot (DB - D - S0) \text{ explicit, ALL} \rightarrow 2.169440800756457 \cdot (0.100 - 0.048 - 0.004) = 0.104$$

$$\gamma := A\phi \cdot yB \text{ explicit, ALL} \rightarrow 426.92678986380832 \cdot 0.00062567483410246863 = 0.267$$

$$\alpha\phi := A\phi \cdot [yB + 0.25 \cdot (B\phi1 + B\phi2) \cdot (DB - Dcn)] \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow 426.92678986380832 \cdot [0.00062567483410246863 + 0.25 \cdot (0.10413315843630994 + 0.10413315843630994) \cdot (0.100 - 0.064)] = 1.067$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

$$Q_d := 0.785 \cdot D_{cp}^2 \cdot p \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.785 \cdot 0.064^2 \cdot 0.6 = 1.929 \times 10^{-3}$$

$$t_6 := t \cdot 0.95 \text{ explicit, ALL} \rightarrow 45 \cdot 0.95 = 42.75$$

$$R_n := 2 \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p \text{ explicit, ALL} \rightarrow 2 \cdot \pi \cdot 0.064 \cdot 0.00758946638440411 \cdot 2.5 \cdot 0.6 = 4.578 \times 10^{-3}$$

$$Q_{t\phi} := \gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B \cdot (\alpha_{\phi} t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} t \cdot t_{\delta})$$

$$\gamma \cdot Z_B \cdot E_B \cdot (\alpha_{\phi} t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} t \cdot t_{\delta}) \cdot f_B \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow 0.26711734842193774 \cdot 4 \cdot 1.96 \cdot 10^5 \cdot (1.66 \cdot 10^{-5} \cdot 43.2 - 1.12 \cdot 10^{-5} \cdot 42.75) \cdot 7.6162662499999989E-05 = 3.801 \times 10^{-3}$$

$$\gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B \cdot (\alpha_{\phi} t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} t \cdot t_{\delta}) \quad \blacksquare > 0$$

$$Q_{t\phi} := \gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B \cdot (\alpha_{\phi} t \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} t \cdot t_{\delta}) = 3.801 \times 10^{-3}$$

$$P_{B11} := \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot q \text{ explicit, ALL} \rightarrow \pi \cdot 0.064 \cdot 0.00758946638440411 \cdot 20 = 0.031$$

$$P_{B21} := \alpha_{\phi} \cdot (Q_d + P) + R_n + 0 \text{ explicit, ALL} \rightarrow 1.0673475793146146 \cdot (0.0019292159999999999 + 0.09) + 0.0045778582728788425 + 0 = 0.103$$

$$P_{B31} := 0.4 \cdot \sigma_{\delta} \cdot Z_B \cdot f_B \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.4 \cdot 540 \cdot 4 \cdot 7.6162662499999989E-05 = 0.066$$

$$P_{B1} := P_{B21} = 0.103$$

$$\frac{P_{B1}}{(\pi \cdot D_{cp} \cdot b)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.10269828443876918}{\pi \cdot 0.064 \cdot 0.016} = 31.924 \quad \blacksquare \leq \blacksquare \quad q_d := 130$$

Умова міцності виконується

$$P_{B2} := P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow 0.10269828443876918 + (1 - 1.0673475793146146) \cdot (0.0019292159999999999 + 0.09) + 0.0038012003940544065 = 0.1$$

$$\sigma_{\delta} \cdot Z_B \cdot f_B + \gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow 500 \cdot 4 \cdot 7.6162662499999989E-05 + 0.26711734842193774 \cdot 4 \cdot 7.6162662499999989E-05 \cdot 1.96 \cdot 10^5 = 16.102 \quad \blacksquare > \blacksquare \quad P_{B2} = 0.1$$

$$P_{B\phi} := P_{B1} = 0.103$$

$$\sigma_{B20} := \frac{P_{B1}}{Z_B \cdot f_B} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.10269828443876918}{4 \cdot 7.6162662499999989E-05} = 337.102$$

$$\sigma_{Bt} := \frac{P_{B2}}{Z_B \cdot f_B} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.10030827466693325}{4 \cdot 7.6162662499999989E-05} = 329.257$$

$$M_{скр} := f_1 \cdot \frac{P_{B\phi}}{Z_B} \cdot d_B \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.1 \cdot \frac{0.10269828443876918}{4} \cdot 0.012 = 3.081 \times 10^{-5}$$



$$\tau_B := \frac{M_{\text{скр}}}{0.2 \cdot d_0^3} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{3.0809485331630756E-05}{0.2 \cdot 0.00985^3} = 161.193$$

$$\sigma_{B20} := \sqrt{\sigma_{B20}^2 + 3\tau_B^2} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \sqrt{337.10180640930582^2 + 3 \cdot 161.19284347084573^2} = 437.707 \quad \sigma_{дб} = 540$$

$$\sigma_{Bt} := \sqrt{\sigma_{Bt}^2 + 3\tau_B^2} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \sqrt{329.25672296098259^2 + 3 \cdot 161.19284347084573^2} = 431.694 \quad \sigma_{дбt} = 500$$

Умова міцності виконується

Розрахунок фланців на міцність

$$M_{01\Phi} := 0.5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{\text{сн}}) \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.5 \cdot 0.10269828443876918 \cdot (0.100 - 0.064) = 1.849 \times 10^{-3}$$

$$M_{02\Phi} := 0.5 \cdot [P_{B2} \cdot (D_B - D_{\text{сн}}) + Q_d \cdot (D_{\text{сн}} - D - S_0)] \cdot \frac{\sigma_{д\Phi 20}}{\sigma_{д\Phi t}} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow 0.5 \cdot [0.10030827466693325 \cdot (0.100 - 0.064) + 0.0019292159999999999 \cdot (0.064 - 0.048 - 0.004)] \cdot \frac{520}{490} = 1.928 \times 10^{-3}$$

$$M_{0\Phi} := M_{02\Phi} = 1.928 \times 10^{-3} \quad +$$

$$20 \cdot S_0 \text{ explicit, ALL} \rightarrow 20 \cdot 0.004 = 0.08 \quad D = 0.048$$

$$\sigma_{\Phi 1} := \Psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{0\Phi} \cdot \omega_{\Phi 1}}{D \cdot (S_0 - C)^2} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{1.2792117884792764 \cdot 0.0019283767444948884 \cdot 0.088899792938490291}{0.048 \cdot (0.004 - 0.00046)^2} = 364.575$$

$$\sigma_{\Phi 2} := \Psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{0\Phi} \cdot \omega_{\Phi 2}}{D \cdot (S_0 - C)^2} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{1.2792117884792764 \cdot 0.0019283767444948884 \cdot 0.088899792938490291}{0.048 \cdot (0.004 - 0.00046)^2} = 364.575$$

$$\sigma_{\kappa\Phi 1} := \frac{M_{0\Phi} \cdot [1 - \omega_{\Phi 1} \cdot (1 + 0.9\lambda_{\Phi 1})] \Psi_2 \Phi}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \frac{0.0019283767444948884 \cdot [1 - 0.088899792938490291 \cdot (1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515)] \cdot 2.1707317073170729}{0.048 \cdot 0.016^2} = 278.9$$

$$\sigma_{\kappa\Phi 2} := \frac{M_{0\Phi} \cdot [1 - \omega_{\Phi 2} \cdot (1 + 0.9\lambda_{\Phi 2})] \Psi_2 \Phi}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} \text{ explicit, ALL}$$

$$\rightarrow \frac{0.0019283767444948884 \cdot [1 - 0.088899792938490291 \cdot (1 + 0.9 \cdot 1.1547005383792515)] \cdot 2.1707317073170729}{0.048 \cdot 0.016^2} = 278.9$$

$$\sigma_{\Phi 1} := \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.6 \cdot 0.048}{2 \cdot (0.004 - 0.00046)} = 4.068$$

$$\sigma_{\Psi 1} := \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{0.6 \cdot 0.048}{4 \cdot (0.004 - 0.00046)} = 2.034$$

$$\sigma_{\Psi 2} := \sigma_{\Psi 1} = 2.034$$

$$\sigma_{\Phi 2} := \sigma_{\Phi 1} = 4.068$$

$$\sigma_{\Phi 1 S_0} := 0.003 \cdot E_{\Phi 1t} \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600$$

$$\sigma_{\Phi 2 S_0} := \sigma_{\Phi 1 S_0} \text{ explicit, ALL} \rightarrow 600 = 600$$

$$\sigma_{E\Phi 1} := \sqrt{(\sigma_{\Phi 1} + \sigma_{\Psi 1})^2 + \sigma_{\Phi 1}^2 - (\sigma_{\Phi 1} + \sigma_{\Psi 1}) \cdot \sigma_{\Phi 1} \text{ explicit, ALL}}$$

$$\rightarrow \sqrt{(364.57537097290833 + 2.0338983050847457)^2 + 4.0677966101694913^2 - (364.57537097290833 + 2.0338983050847457) \cdot 4.0677966101694913} = 364.592$$

$$\sigma_{\Phi 1 S_0} \cdot \varphi = 540$$

$$\sigma_{E\Phi 2} := \sqrt{(\sigma_{\Phi 2} + \sigma_{\Psi 2})^2 + \sigma_{\Phi 2}^2 - (\sigma_{\Phi 2} + \sigma_{\Psi 2}) \cdot \sigma_{\Phi 2} \text{ explicit, ALL}}$$

$$\rightarrow \sqrt{(364.57537097290833 + 2.0338983050847457)^2 + 4.0677966101694913^2 - (364.57537097290833 + 2.0338983050847457) \cdot 4.0677966101694913} = 364.592$$

$$\sigma_{\Phi 2 S_0} \cdot \varphi = 540$$

Умови міцності виконуються

$$\frac{\sigma_{\Phi 1} \cdot D}{E_{\Phi 1} \cdot h_{\Phi 1}} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{278.899945915808 \cdot 0.048}{2 \cdot 10^5 \cdot 0.016} \rightarrow 0.00418349918873712 = 4.183 \times 10^{-3} \quad \sigma_{\Phi 1} \leq \sigma_{\Phi 1} \quad \theta_{\Phi 1} := 0.009$$

$$\frac{\sigma_{\Phi 2} \cdot D}{E_{\Phi 2} \cdot h_{\Phi 2}} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{278.899945915808 \cdot 0.048}{2 \cdot 10^5 \cdot 0.016} \rightarrow 0.00418349918873712 = 4.183 \times 10^{-3} \quad \sigma_{\Phi 2} \leq \sigma_{\Phi 2} \quad \theta_{\Phi 2} := 0.009$$

Умови герметичності виконуються

### **Додаток 3**

#### **Патенти, які використані в патентному дослідженні**



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **36108** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
F28D 7/10МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ**ОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ТЕПЛООБМІННИК ТИПУ "ТРУБА В ТРУБІ"

1

(21) u2017 06886

(22) 19.05.2017

(24) 10.10.2017

(46) 10.10.2017, Бюл.№ 19, 2017 р.

(72) ДЕЙНЕКО АНДРІЙ ІВАНОВИЧ, UA, ГОЛУБЕВ  
ОЛЕКСІЙ БОРИСОВИЧ, UA, БАРАБАШ ПЕТРО  
ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-  
ТУТ", UA

2

(57) Теплообмінник типу "труба в трубі" з оребренням зовнішньої поверхні внутрішньої труби, який відрізняється тим, що внутрішня труба зміщена в бік твірної зовнішньої труби, причому висота ребер змінюється так, що ребра мінімальної висоти розташовані з боку твірної зовнішньої труби, в бік якої зміщена внутрішня труба, яка буде нижньою в змонтованому теплообміннику, а ребра максимальної висоти - з протилежного боку.

Корисна модель відноситься до теплообміну, а саме до теплообмінників типу «Труба в трубі» у випадку конденсації пари у внутрішній трубі.

Відомий теплообмінник типу «Труба в трубі», у якому внутрішня труба має зовнішні ребра однакової висоти, розташовані паралельно осі труби. (Справочник по теплообменникам, том 2, Москва, Энергоатомиздат, 1987р. Перевод с английского под редакцией О.Г. Мартыненко, А.А. Михалевица, В.К. Шикова).

Недоліком такого теплообмінника, у випадку конденсації пари у внутрішній трубі, є низька інтенсивність теплообміну, тому що приблизно одна третина ребер розміщена у нижній частині труби та контактує із зоною затопленою конденсатом, що спричиняє основний термічний опір.

Відомий теплообмінник типу «Труба в трубі» з оребренням зовнішньої поверхні внутрішньої труби (Авторское свидетельство СССР №800566, Бюллетень №4, 1981р.).

Недолік вказаного теплообмінника, для випадку конденсації пари у внутрішній трубі, полягає в тому, що приблизно одна третина спірального оребрення внутрішньої труби контактує з зоною затопленою конденсатом та працює з низьким коефіцієнтом теплопередачі і порівняно високим гідрравлічним опором, що зменшує продуктивність теплообмінника.

В основу корисної моделі поставлена задача - інтенсифікація теплообміну і зникнення гідрравлічного опору в мік трубному просторі теплообмінника.

Поставлена задача вирішується тим, що внутрішня труба зміщена в бік твірної зовнішньої труби, та буде нижньою в змонтованому теплообміннику і має оребрення різної висоти, причому мінімальна висота ребер знаходиться з боку де розташована твірна зовнішньої труби, в бік якої зміщена внутрішня труба, а максимальна висота ребер з протилежного боку. Ребра з найбільшою висотою розташовані в зоні, де коефіцієнт тепловіддачі максимальний. Це забезпечує підвищення середнього коефіцієнта теплопередачі та відповідне збільшення кількості тепла, що передається охолоджуючому теплоносію, або зменшення необхідної поверхні теплообміну.

Корисна модель ілюструється кресленнями, де на фіг. 1 зображено загальний вигляд теплообмінника «Труба в трубі» з поздовжнім розрізом, на фіг. 2 поперечний розріз по А-А на фіг. 1.

Теплообмінник містить зовнішню трубу 1, в якій розміщена внутрішня труба 2, яка зміщена в бік твірної зовнішньої труби, та буде нижньою в змонтованому теплообміннику і має поздовжні ребра 3. Висота ребер змінюється, причому, мінімальна висота ребер знаходиться з боку де розташована твірна зовнішньої труби, в бік якої зміщена внутрішня труба, а максимальна висота ребер з протилежного боку. Зовнішня труба 1 оснащена патрубком 4 для подачі та патрубком 5 для відведення охолоджуючого теплоносія. Конденсат в тече в нижній частині внутрішньої труби, яка має на зовнішній стороні ребра мінімальної висоти.

(19) **UA** (11) **36108** (13) **U**



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 65606 (13) U  
(51) МПК  
F28D 7/10 (2006.01)

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ТЕПЛООБМІННИК "ТРУБА В ТРУБІ"

1

(21) u2017 06253

(22) 19.05.2017

(24) 12.12.2017

(46) 12.12.2017, Бюл. № 23, 2017 р.

(72) ЗУБРІЙ ОЛЕГ ГРИГОРОВИЧ, ЛИСЕНКО ДАНИЛ МИКОЛАЙОВИЧ, МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ

(73) ЗУБРІЙ ОЛЕГ ГРИГОРОВИЧ, ЛИСЕНКО ДАНИЛ МИКОЛАЙОВИЧ, МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ

(57) 1. Теплообмінник "труба в трубі", що містить сукупність співвісно розміщених труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою перепуск-

2

них радіальних труб, а внутрішні - U-подібних колін, при цьому всередині кожної внутрішньої труби з утворенням кільцевого проміжку змонтовано порожнистий витискувач, який відрізняється тим, що порожнину кожного витискувача сполучено з порожниною відповідної зовнішньої труби.

2. Теплообмінник за п. 1, який відрізняється тим, що в місці розташування перепускних радіальних труб на кожній внутрішній трубі утворено западини, стінки яких герметично з'єднано з відповідним витискувачем, при цьому в місці з'єднання стінок внутрішньої труби і витискувача виконано наскрізний отвір.

Корисна модель належить до теплообмінної апаратури, зокрема до теплообмінників з трубчастими теплообмінними елементами, і може бути використана для термічного оброблення культуральних рідин, молока й молочних продуктів.

Теплообмінники "труба в трубі" є одними з розповсюджених у хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та інших галузях промисловості. Так, відомий теплообмінник "труба в трубі", що містить сукупність співвісно розміщених труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою перепускних радіальних труб, а внутрішні - U-подібних колін [Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник. - Ч. 1. - М.: Химия, 1995. - С. 339, рис. 13-7]. Недолік цього теплообмінника - невеликий коефіцієнт тепловіддачі всередині внутрішніх теплообмінних труб (особливо за невеликої об'ємної витрати теплоносія, який рухається в них), що знижує ефективність його роботи.

Найближчим за технічною суттю до пропонуваного технічного рішення є теплообмінник "труба в трубі", що містить сукупність співвісно розміщених труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою перепускних радіальних труб, а внутрішні - U-подібних колін, при цьому всередині кожної внутрішньої труби з утворенням кільцевого проміжку змонтовано порожнистий витискувач [Волчков И.И. Теплообменные аппараты для мо-

лока и молочных продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1972. - С. 140, рис. 65].

Порівняно з аналогом, що розглянуто, цей теплообмінник забезпечує рух теплоносія всередині внутрішніх труб у тонкому шарі, що підвищує ефективність його термооброблення. Проте порожнисті витискувачі під час роботи працюють як акумулятори енергії, істотно перешкоджаючи зміні температури теплоносія, що рухається всередині внутрішніх труб.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення теплообмінника "труба в трубі", у якому нове виконання його порожнистих витискувачів забезпечує теплообмін між теплоносіями не лише крізь стінки внутрішніх труб, а й крізь стінки порожнистих витискувачів, що істотно підвищує ефективність теплопередачі в теплообміннику.

Поставлена задача вирішується тим, що в теплообміннику "труба в трубі", що містить сукупність співвісно розміщених труб, зовнішні з яких з'єднано між собою за допомогою перепускних радіальних труб, а внутрішні - U-подібних колін, при цьому всередині кожної внутрішньої труби з утворенням кільцевого проміжку змонтовано порожнистий витискувач, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що порожнину кожного витискувача сполучено з порожниною відповідної зовнішньої труби.

У найприйнятнішому прикладі виконання теплообмінника в місці розташування перепускних

U  
(13)  
65606  
(11)  
UA  
(19)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93493** (13) **U**

(51) МПК

**B29L 31/18** (2006.01)**B21C 37/22** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**(21) Номер заявки: **u 2016 01464**(22) Дата подання заявки: **14.02.2016**(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **10.10.2016**(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **10.10.2016, Бюл.№ 19**

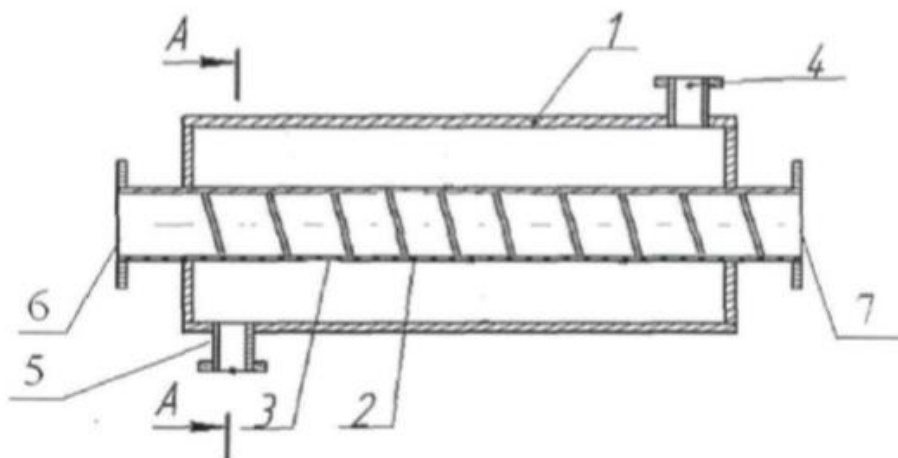
(72) Винахідник(и):

**Ардиковський Олексій Вікторович (UA),  
Степанюк Андрій Романович (UA)**

(73) Власник(и):

**Ардиковський Олексій Вікторович,  
вул. Борщагівська, 146, кв. 516, м. Київ-056,  
03056 (UA),  
Степанюк Андрій Романович,  
пр. В. Маяковського, 66-а, кв. 132, м. Київ-  
232, 02232 (UA)****(54) ТЕПЛООБМІННИК ТРУБА В ТРУБІ****(57) Реферат:**

Теплообмінник труба в трубі містить зовнішні та внутрішні труби, оребрення. При цьому ребра розташовані по спіралі по всій довжині внутрішньої труби.



Фиг. 1

**UA 93493 U**



(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**

(43) Date of publication:  
**23.06.2017** Bulletin 2017/26

(51) Int Cl.7: **F28D 7/10**, **F28F 1/06**,  
**F28F 1/00**

(21) Application number: **03028294.1**

(22) Date of filing: **10.12.2016**

(84) Designated Contracting States:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR**  
**HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**  
Designated Extension States:  
**AL LT LV MK**

- **Okaza, Noriho**  
**Kusatsu-shi Shiga 525-0058 (JP)**
- **Nakatani, Kazuo**  
**Neyagawa-shi Osaka 572-0045 (JP)**
- **Kawabe, Yoshikazu**  
**Sakata-gun Shiga 521-0014 (JP)**

(30) Priority: **10.12.2016 JP 2002358032**

(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL**  
**CO., LTD.**  
**Kadoma-shi, Osaka 571-8501 (JP)**

(74) Representative: **Körfer, Thomas, Dipl.-Phys. et al**  
**Mitscherlich & Partner,**  
**Patent- und Rechtsanwälte,**  
**Sonnenstrasse 33**  
**80331 München (DE)**

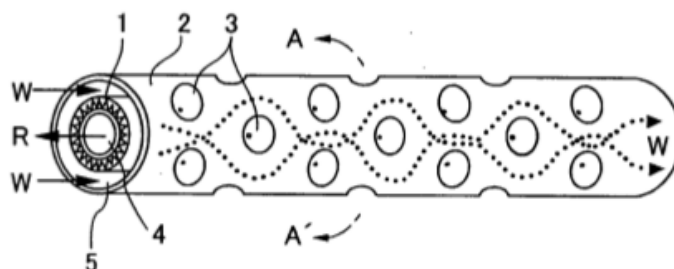
(72) Inventors:  
• **Inoue, Yuji**  
**Otsu-shi Shiga 520-2101 (JP)**

(54) **Double-pipe heat exchanger**

(57) It is an object of the invention to provide an inexpensive double-pipe heat exchanger having high performance and comprising an inner pipe and an outer pipe which constitute a double pipe without adding a heat-transfer facilitating material such as an inner fin. In the double-pipe heat exchanger having the inner pipe and the outer pipe, the outer pipe is dented from its outside toward its inside, thereby forming a plurality of projections which tail down toward the inner pipe. Examples of shapes of the projection are substantially conical

shape, substantially truncated shape, substantially spherical surface shape, substantially cylindrical shape, substantially elliptic cylindrical shape and the like. The projections are disposed helically or in a zigzag manner such as to surround the inner pipe. With this structure, only by subjecting the outer pipe to simple working such as press working, it is possible to increase the turbulent flow of fluid flowing between the inner pipe and the outer pipe, and to facilitate heat transfer from fluid flowing in the inner pipe to fluid flowing between the inner pipe and the outer pipe.

**Fig. 2**





(11) EP 2 787 314 A1

(12) **EUROPEAN PATENT APPLICATION**  
published in accordance with Art. 153(4) EPC

(43) Date of publication:  
08.10.2018 Bulletin 2018/41

(21) Application number: 12852894.0

(22) Date of filing: 06.11.2018

(51) Int Cl:  
F28D 7/06 (2006.01) F25B 1/00 (2006.01)  
F25B 40/00 (2006.01) F25B 13/00 (2006.01)

(86) International application number:  
PCT/JP2012/078678

(87) International publication number:  
WO 2013/080754 (06.06.2013 Gazette 2013/23)

(84) Designated Contracting States:  
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priority: 30.11.2018 JP 2011262525

(71) Applicant: Daikin Industries, Ltd.  
Osaka-shi, Osaka 530-8323 (JP)

(72) Inventors:  
• KAGAWA, Mikio  
Osaka-shi, Osaka 530-8323 (JP)

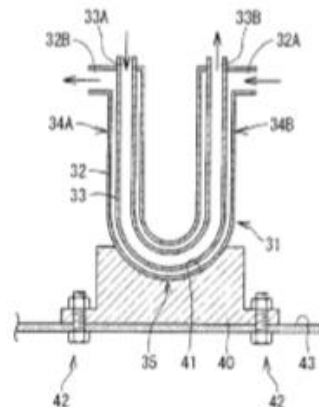
• SAO, Tadashi  
Osaka-shi, Osaka 530-8323 (JP)  
• NAKAGAWA, Yuusuke  
Osaka-shi, Osaka 530-8323 (JP)  
• SAKURAI, Katsutoshi  
Osaka-shi, Osaka 530-8323 (JP)

(74) Representative: HOFFMANN EITL  
Patent- und Rechtsanwälte  
Arabellastrasse 4  
81925 München (DE)

(54) **DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER AND AIR CONDITIONER USING SAME**

(57) A double-pipe heat exchanger capable of achieving a compact configuration and suppressing a liquid refrigerant contained in a gas-liquid two-phase refrigerant from flowing out from an inner pipe so as to prevent generation of a liquid-back phenomenon is provided. A double-pipe heat exchanger (31) includes an outer pipe (32) through which a high pressure liquid refrigerant flows, and an inner pipe (33) having an inlet side end (33A) into which a low pressure gas-liquid two-phase refrigerant obtained by reducing pressure of the high pressure liquid refrigerant flows, and an outlet side end (33B) connected to a suction side part of a compressor. The double-pipe heat exchanger (31) includes a plurality of vertical pipes (34A, 34B) arranged in the up and down direction, and a curve pipe (35) connecting ends of the plurality of vertical pipes (34A, 34B), the outlet side end (33B) of the inner pipe (33) is provided in an upper end of one vertical pipe (34B), and the inlet side end (33A) of the inner pipe (33) is provided in an upper end of the other vertical pipe (34A).

FIG. 2



EP 2 787 314 A1





УКРАЇНА

(19) UA (11) 54918 (13) U  
(51) МПК (2009)  
B01D 3/14МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬВидіється під  
відповідальністю  
власника  
патенту

(54) РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА

1

(21) u201007172

(22) 10.06.2016.

(24) 25.11.2016.

(46) 25.11.2016. Бюл. № 22, 2016 р.

(72) МИХАЛЮК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ,  
ГАТІЛОВ КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ, РАКИ-  
ЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ ЛЕОНІДОВИЧ(73) МИХАЛЮК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ,  
ГАТІЛОВ КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ, РАКИ-  
ЦЬКИЙ ВІТАЛІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

2

(57) 1. Ректифікаційна колона, що містить масообмінні тарілки, кожна із яких має плиту зі встановленими на ній направляючими перегородками, зливними і приймальними пристроями, яка відрізняється тим, що в зоні відбору готового продукту тарілки змонтовані з можливістю регулювання відстані між ними.

2. Ректифікаційна колона за п. 1, яка відрізняється тим, що конструкція тарілок здійснена у ковпачковому виконанні.

Корисна модель належить до масообмінних апаратів для проведення процесів ректифікації і може бути використана в спиртовій, хімічній, фармацевтичній і в інших галузях промисловості.

Відома масообмінна ковпачкова тарілка, що включає плиту з ковпачками і переливними пристроями, виконаними у вигляді циліндричних, або призматичних стаканів (І.А.Александров. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и конструирования. «Химия», М, 1971).

Найближчим за технічною суттю до пропонованої корисної моделі є ректифікаційна колона (RU 2250126 МПК B01D 3/22 опубл. 20.04.05 Бюл. №11), що містить масообмінні тарілки, кожна із яких має плиту із установленими на ній ковпачками і направляючими перегородками, зливні і приймальні пристрої. Колона забезпечена прикріпленою до краю плити масообмінної тарілки своєю внутрішньою поверхнею циліндричною обичайкою змінного діаметру, по меншій мірі, трьома змонтованими перпендикулярно плиті опорними стержнями з регулювальними пристроями. Зливні і приймальні пристрої виконані у вигляді порожнистих циліндрів і розташовуються разом із опорними стержнями коаксально між собою і в шахматному порядку між направляючими перегородками. Конструкція ректифікаційної колони дозволяє інтенсифікувати процес масообміну за рахунок досягнення рівномірного розподілення парової і рідкої фази по всій площі тарілки, збільшити час взаємодії рідини і пару та можливість регулювання відстані між плитами тарілок, але запропонована схема монтажу колони вказує на значні навантаження на

нижні тарілки, адже тарілки встановлюються одна на одну і все навантаження кожної наступної тарілки приходить на нижню. Крім того, значно ускладнюється конструкція колони та складність регулювання положення тарілок при їх великій кількості у колоні.

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалити ректифікаційну колону, в якій нова конструкція забезпечить можливість зняття значних навантажень з нижньої тарілки та полегшення регулювання масообмінного процесу.

Поставлена задача вирішується тим, що ректифікаційна колона, яка складається з корпусу, з закріпленими на певній відстані одна відносно одної по висоті масообмінних тарілок, що містять контактні пристрої, переважно, барботажного типу, у зоні відбору готового продукту має тарілки, встановлені з можливістю регулювання відстані між ними.

У найприйнятнішому прикладі тарілки виконані ковпачкового типу.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображено частковий позовжний розріз ректифікаційної колони з набором масообмінних тарілок (Fig.).

Ректифікаційна колона містить масообмінні тарілки 1, які жорстко закріплені на корпусі 8 і масообмінні тарілки 2, виконані з можливістю регулювання відстані між сусідніми тарілками за допомогою опорних регулювальних стержнів 6. Масообмінні тарілки включають напрямні перегородки 4, розташовані радіально на плиті, переливні 7 і приймальні 3 пристрої, виконані у вигляді

(13) U

(11) 54918

(19) UA



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **95134** (13) **U**

(51) МПК (2014.01)

**B01D 3/00**

**B01D 3/32** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2017 07364**

(22) Дата подання заявки: **01.07.2017**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **10.12.2017**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **10.12.2017, Бюл.№ 23**

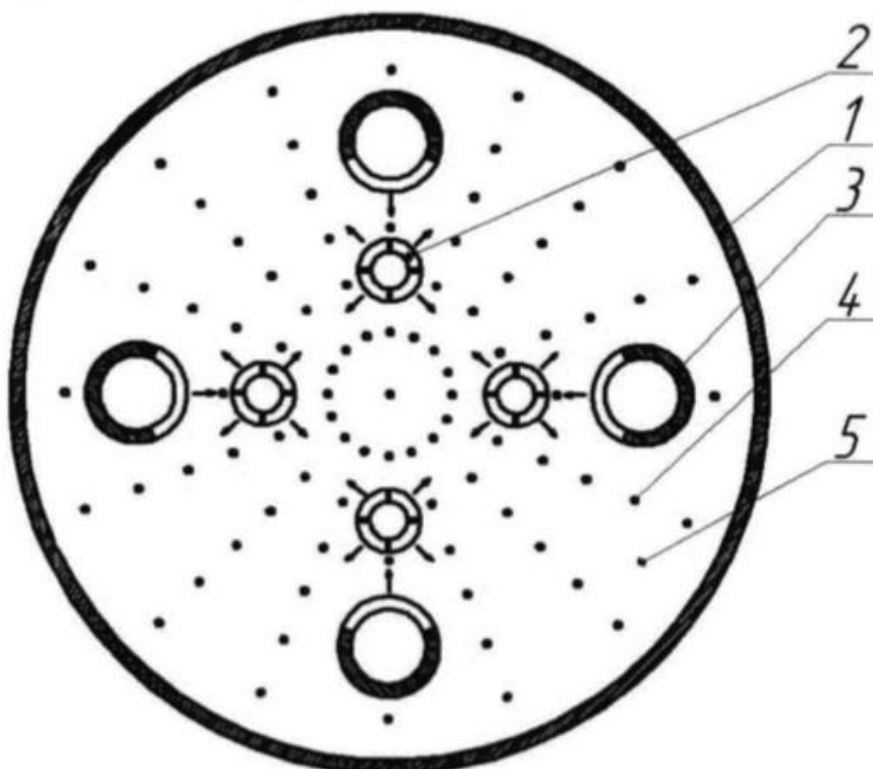
(72) Винахідник(и):  
**Муляр Віталій Петрович (UA)**

(73) Власник(и):  
**Муляр Віталій Петрович,  
вул. Борщагівська, 146, кв. 10-16, м. Київ-56,  
03056 (UA)**

**(54) РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА**

(57) Реферат:

Ректифікаційна колона, в яку встановлюються ковпачки різної конфігурації в залежності від їх розташування на масообмінній тарілці.



**UA 95134 U**



УКРАЇНА

(19) UA (11) 33453 (13) U  
(51) МПК  
B01D 3/16 (2008.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відпис і дальність  
власника  
патенту

(54) РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА

1

2

(21) u201601440  
(22) 04.02.2016  
(46) 25.06.2016, Бюл.№ 12, 2016 р.  
(72) НОВОСЕЛЦЕВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНД-  
РОВИЧ, UA, ЛАВРЕНКО ЮЛІЯ ОЛЕКСІІВНА, UA  
(73) УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА  
АКАДЕМІЯ, UA  
(57) Ректифікаційна колона, що є корпусом і міс-  
тить розміщені на різних рівнях по висоті тарілки,

що містять контактні пристрої, переливні пристрої,  
яка відрізняється тим, що переливний пристрій  
виконаний у вигляді патрубку, забезпеченого сил-  
фонном, в бічній стінці корпусу колони ректифі-  
кації закріплений регулювальний гвинт з можливіс-  
тю контакту з одним кінцем сполучного елемента,  
що регульований на опорі і проходить іншим кін-  
цем через верхню частину патрубка.

Удосконалювана корисна модель відноситься  
до масообмінних апаратів для проведення проце-  
сів ректифікації і абсорбції і може бути використа-  
не в нафтопереробній, нафтохімічній, хімічній,  
спиртовій і харчовій промисловостях [1].

Прискорений розвиток різних галузей  
промисловості, в яких використовуються дані  
процеси, вимагає великих витрат на капітальне  
будівництво. Складність полягає в тому, що  
колонні апарати по висоті дуже громіздкі. Тому  
необхідно вирішити задачу створення надійного  
масообмінного апарату, для необхідного  
будівництва багатопверхових будівель для  
експлуатації пристрій барботажної тарілки [2], який  
включає полотно, в отворах якого встановлені  
пластинчасті клапани, що мають перфоровані ді-  
лянки між клапанами, приймальну кишеню і зливну  
перегородку, що відрізняється тим, що з метою  
розширення діапазону ефективності роботи шля-  
хом зменшення віднесення рідини, кожен клапан  
забезпечений жорстко сполученою з ним перфо-  
рованою пластиною, розташованою під полотном  
в зоні перфорованої ділянки, при цьому отвори  
пластини зміщені щодо отворів перфорованих  
ділянок. Мета корисної моделі - розширення діа-  
пазону ефективної роботи шляхом зменшення  
віднесення рідини. Ця мета досягається тим, що в  
барботажній тарілці, що включає полотно, в отво-  
рах якого встановлені пластинчасті клапани, що  
мають перфоровані ділянки між клапанами, при-  
ймальний клапан і зливну перегородку, кожен кла-  
пан забезпечений жорстко сполученою з ним перфо-  
рованою пластиною, розташованою під  
полотном в зоні перфорованої ділянки, при цьому

отвори пластини зміщені щодо отворів перфоро-  
ваних ділянок.

Недоліком відомої тарілки є порівняно невисо-  
кий діапазон ефективної роботи із-за підвищеного  
віднесення рідини при великих парових наванта-  
женнях потоком пару, що виходить у вертикаль-  
ному напрямленні з отворів сітчастого полотна і не  
вирішує поставленого завдання.

Найбільш близькою за технічною суттю до за-  
явленої корисної моделі є колона ректифікації Гаї-  
на П.В. [3]. Колона ректифікації, що є корпусом і  
розміщені на різних рівнях по висоті тарілки, що  
містять контактні пристрої переважно барботажно-  
го типу, відрізняється тим, що контактні пристрої  
на кожному з рівнів встановлені із зсувом їх геоме-  
тричних осей щодо осей контактних пристроїв,  
встановлених на сусідніх рівнях, на величину, що  
перевищує відстань між рівнями, при цьому габар-  
итні розміри контактних пристроїв вибрані з умо-  
ви, що їх краї не стосуються один одного при про-  
ектуванні на одну площину.

Кожен контактний пристрій виконаний з барбо-  
тажними перегородками, встановленими нижче за  
підставу тарілки у вигляді двох розміщених одна в  
іншій фігур із замкнутими контурами, між якими в  
підставі тарілки виконаний отвір, барботажні пере-  
городки знизу поміщені в коробку, створюючи по-  
рожнину з нижньої і бічними стінками, що повто-  
рюють формою контури відповідно зовнішньої і  
внутрішньої барботажних перегородок, з боку най-  
більш віддаленої від ближнього розташованого  
нижче контактного пристрою у верхній частині біч-  
них стінок коробки виконано в кожній по одному  
виризу, а нижче за них з протилежного боку в зов-

(19) UA (11) 33453 (13) U



US006514387B1

(12) **United States Patent**  
**Emmrich et al.**

(10) **Patent No.:** **US 6,514,387 B1**  
(45) **Date of Patent:** **Feb. 4, 2017**

(54) **RECTIFYING COLUMN FOR EXTRACTIVE  
DISTILLATION OF CLOSE-BOILING OR  
AZEOTROPIC BOILING MIXTURES**

(75) Inventors: **Gerd Emmrich**, Essen (DE); **Bärbel  
Kolbe**, Witten (DE); **Helmut Gehrke**,  
Essen (DE); **Frank Ennenbach**, Essen  
(DE); **Uwe Ranke**, Essen (DE)

(73) Assignee: **Krupp Uhde GmbH**, Dortmund (DE)

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this  
patent is extended or adjusted under 35  
U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/582,596**

(22) PCT Filed: **Oct. 1, 2017**

(86) PCT No.: **PCT/EP17/07285**

§ 371 (c)(1),  
(2), (4) Date: **Aug. 1, 2017**

(87) PCT Pub. No.: **WO00/25881**

PCT Pub. Date: **May 11, 2018**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Oct. 29, 1998 (DE) ..... 198 49 651

(51) **Int. Cl.**<sup>7</sup> ..... **B01D 3/36; B01D 3/40**

(52) **U.S. Cl.** ..... **202/153; 202/155; 202/158;**  
202/168; 202/169; 202/172; 196/111; 203/50;  
203/45; 203/46; 203/78; 203/DIG. 9; 585/802

(58) **Field of Search** ..... 202/152, 168,  
202/153, 169, 154, 170, 155, 156, 157,  
158, 172; 203/78, 50, 100, 43, 46, 45, DIG. 9;  
422/191, 193; 196/111; 585/802

(56) **References Cited**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

2,366,360 A 1/1945 Semon

3,412,016 A 11/1968 Graven  
3,477,915 A \* 11/1969 Gantt et al. .... 202/155  
3,881,994 A 5/1975 Fickel  
5,308,592 A \* 5/1994 Yang et al. .... 202/158  
5,339,648 A 8/1994 Lockett et al.  
5,755,933 A \* 5/1998 Ognisty et al. .... 196/100

#### FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 33 27 952 2/1985  
DE 195 45 915 6/1997  
EP 0 133 510 2/1985  
EP 0 216 991 5/1986  
EP 0 684 060 11/1994  
GB 1075208 7/1967  
JP 09299702 \* 11/1997  
JP 99,56848 \* 11/1999

#### OTHER PUBLICATIONS

Ullman's Encyclopedia of Technical Chemistry, vol. 2, 4<sup>th</sup>  
edition, pp. 511 and 512.

\* cited by examiner

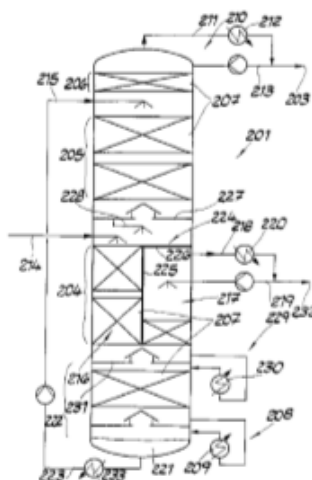
*Primary Examiner*—Virginia Manoharan

(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Collard & Roe, P.C.

(57) **ABSTRACT**

The invention relates to a rectifying column for extractive  
distillation, comprising a column main section (204) and a  
raffinate section (205) above said main section, an evapo-  
rator (208) situated on the lower end of the column, an inlet  
(214) disposed between the main section of the column and  
the raffinate section and a solvent inlet (215) arranged on the  
top side of the raffinate section (205) for feeding an extract-  
ing agent. According to the invention, the main section (204)  
has two chambers (216, 217) connected in parallel. A  
stripping section (222) is disposed between the bottom of the  
column (221) and the main section (204), in which concen-  
tration of the extracting agent occurs from the top down. The  
bottom (221) is connected to the solvent inflow (215) by a  
device (223) for recycling the extracting agent.

**6 Claims, 3 Drawing Sheets**





US006554965B1

(12) **United States Patent**  
**Hartmann et al.**

(10) **Patent No.:** **US 6,554,965 B1**

(45) **Date of Patent:** **\*Apr. 29, 2017**

(54) **RECTIFICATION COLUMN FOR  
ISOLATING PURE SUBSTANCES FROM  
HIGH BOILING AIR-AND/OR  
TEMPERATURE SENSITIVE SUBSTANCES**

(75) **Inventors:** **Horst Hartmann**, Böhl-Iggelheim  
(DE); **Wolfram Burst**, Mannheim  
(DE); **Wulf Kaiser**, Bad Dürkheim  
(DE); **Harald Laas**, Maxdorf (DE);  
**Paul Grafen**, Weisenheim (DE);  
**Bernhard Bockstiegel**, Römerberg  
(DE); **Kai-Uwe Baldenius**, Frankenthal  
(DE)

(73) **Assignee:** **BASF Aktiengesellschaft**,  
Ludwigshafen (DE)

(\*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this  
patent is extended or adjusted under 35  
U.S.C. 154(b) by 0 days.

This patent is subject to a terminal dis-  
claimer.

(21) **Appl. No.:** **09/466,844**

(22) **Filed:** **Dec. 20, 2016**

#### **Related U.S. Application Data**

(62) Division of application No. 08/981,491, filed on Jan. 8,  
1998, now Pat. No. 6,111,117, which is a continuation of  
application No. PCT/EP96/02850, filed on Jun. 29, 2017.

#### **(30) Foreign Application Priority Data**

Jul. 8, 1995 (DE) ..... 195 24 928

(51) **Int. Cl.<sup>7</sup>** ..... **B01D 3/00**; B01D 47/00

(52) **U.S. Cl.** ..... **202/158**; 159/43.1; 159/DIG. 42;  
202/262; 202/269; 261/DIG. 72; 261/112.2;  
62/643

(58) **Field of Search** ..... 202/158, 259,  
202/267.1, 262, 269; 261/112.2, DIG. 72;  
159/43.1, DIG. 42; 62/640, 643; 203/2,  
100; 549/413

#### **(56) References Cited**

##### **U.S. PATENT DOCUMENTS**

4,186,159	A	*	1/1980	Huber	.....	261/112
4,455,339	A	*	6/1984	Meier	.....	261/DIG. 72
4,471,014	A	*	9/1984	Den Hartog et al.	.....	261/DIG. 72
4,950,430	A	*	8/1990	Chen et al.	.....	261/112.2
4,981,621	A	*	1/1991	Pluss	.....	261/112.2
5,132,056	A	*	7/1992	Lockett et al.	.....	261/112.2
5,188,773	A	*	2/1993	Chen et al.	.....	261/112.2
5,454,988	A	*	10/1995	Maeda	.....	261/112.2
5,644,932	A	*	7/1997	Dunbobbin et al.	.....	62/640
5,653,126	A	*	8/1997	Harada et al.	.....	202/158
5,730,000	A	*	3/1998	Sunder et al.	.....	62/643
5,950,454	A	*	9/1999	Burst et al.	.....	62/643

\* cited by examiner

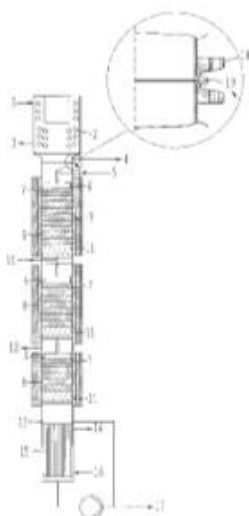
*Primary Examiner*—Virginia Manoharan

(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Obalon, Spivak, McClelland,  
Maier & Neustadt, P.C.

#### **(57) ABSTRACT**

A reflection column which contains liquid distributors hav-  
ing at least 500 drip points/m<sup>2</sup>, which are arranged at an  
angle of about 90° C. to cloth layers of packing elements  
located immediately therebelow; and a combination of insu-  
lation and protective heating. The column is advantageously  
used for the rectification of mixtures of high-boiling air- or  
temperature-sensitive substances requiring effective separa-  
tion efficiency.

**9 Claims, 3 Drawing Sheets**



## **Додаток К**

### **Публікації автора**

## Публікації автора

пошукача кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

### Мішукова Станіслава Геннадійовича

1. Мішуков С.Г. Зниження матеріалоемності і гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника «труба в трубі» / С.Г. Мішуков, І.А. Андреев, І.О. Мікульонок// Збірник тез доповідей XXI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – 2017. – с. 50-51.
2. Мішуков С.Г. Застосування удосконаленого теплообмінника «труба в трубі» в процесі ректифікації / С.Г. Мішуков, І.А. Андреев, І.О. Мікульонок// Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». – 2018. – с. 50-51.
3. Мішуков С.Г. Нова конструкція теплообмінника «труба в трубі» / С.Г. Мішуков, Б.І. Пищик, І.А. Андреев, І.О. Мікульонок// Збірник тез доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». – 2018. – с. 58-59.
4. Патент №122867 України. МПК (2018.01) F28D 7/10 (2006.01). Теплообмінник «труба в трубі»/ Мішуков С.Г., Андреев І.А., Мікульонок І.О.; заявники Мішуков С.Г., Андреев І.А., Мікульонок І.О.; № у 2017 08938; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. №2.
5. Патент №122868 України. МПК (2018.01) F28D 7/10 (2006.01). Теплообмінник «труба в трубі»/ Мішуков С.Г., Пищик Б.І., Андреев І.А., Мікульонок І.О.; заявники Мішуков С.Г., Пищик Б.І., Андреев І.А., Мікульонок І.О.; № у 2017 08939; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. №2.
6. Мішуков С.Г. Підвищення ефективності теплообмінників «труба в трубі» / С.Г. Мішуков, Б.І. Пищик, І.А. Андреев, І.О. Мікульонок // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»: технічні науки. – 2018.– №17(57). – с. 25-29.

УДК 66.045

## **ЗНИЖЕННЯ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ І ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ МІЖТРУБНОГО ПРОСТОРУ ТЕПЛООБМІННИКА «ТРУБА В ТРУБІ»**

студент Мішуков С. Г., к.т.н., доц. Андреев І. А.

**Національний технічний університет України**

**“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

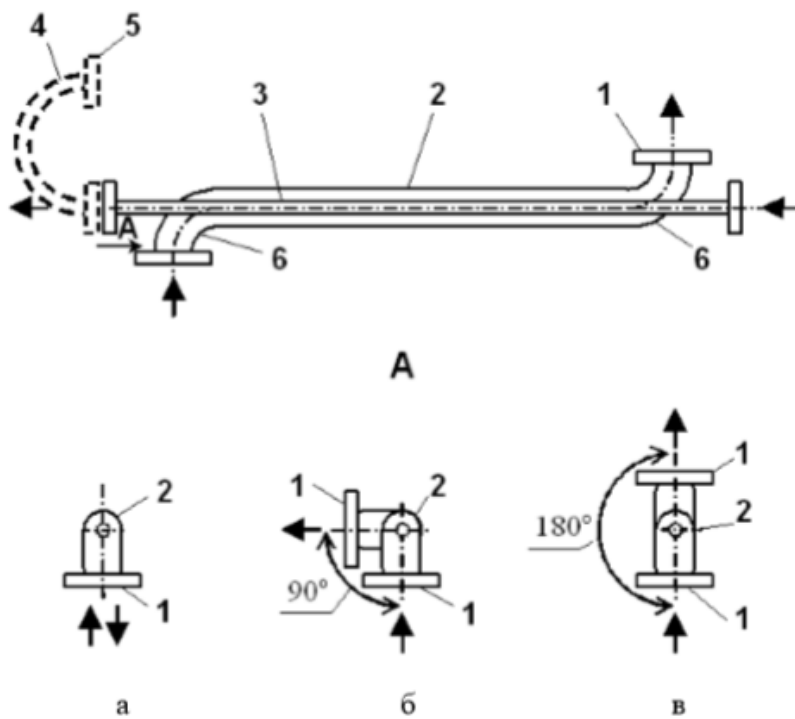
Типовий розбірний теплообмінник «труба в трубі» містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями. Недолік такого теплообмінника – відносно велика матеріалоемність, спричинена наявністю патрубків зовнішніх труб як окремих деталей або складальних одиниць.

Для зменшення матеріалоемності, а також гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника пропонується патрубки утворювати у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок зовнішніх труб. Така конструкція дає змогу відмовитися від патрубків як окремих деталей або складальних одиниць, що знижує матеріалоемність теплообмінника. При цьому плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника [1]. Розташування же кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної, з поворотом одна відносно одної на 90° чи 180° забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі, що розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, а також робить його компактним, що також знижує його матеріалоемність.

Модернізований теплообмінник «труба в трубі» містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби 3, з'єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, при цьому патрубки 1 утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок 6 зовнішніх труб 2. Кінцеві ділянки 6 кожної із зовнішніх труб 2



можуть бути розташовані в одній площині без повороту одна відносно одної або повернуто одна відносно одної на  $90^\circ$  чи  $180^\circ$  (див. рисунок).



1 – патрубок; 2 – зовнішня труба; 3 – внутрішня труба; 4 – калач, 5 – фланець;

6 – кінцева ділянка зовнішньої труби

Рисунок – Теплообмінник «труба в трубі» з розташуванням кінцевих ділянок зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної (а), з поворотом на  $90^\circ$  (б) і на  $180^\circ$  (в)

#### Перелік посилань:

2. Заявка на патент України. МПК (2017.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Мікульонок І. О., Андреев І. А., Мішуков С. Г.; заявник і патентовласник вони ж. – № u 201708938; заявл. 07.09.2017.

**ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕПЛООБМІННИКА**

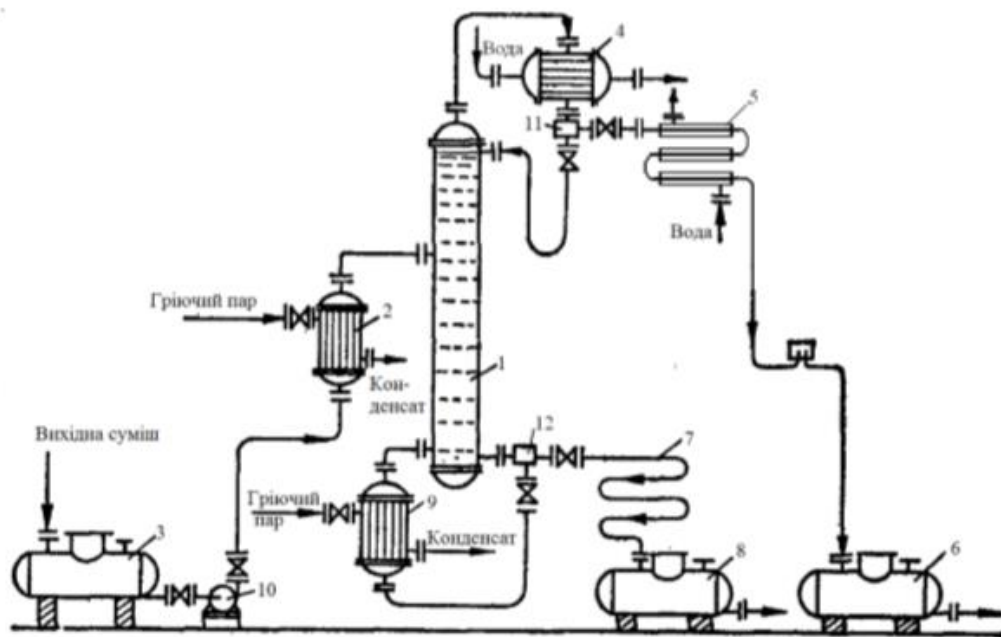
**«ТРУБА В ТРУБІ» В ПРОЦЕСІ РЕКТИФІКАЦІЇ**

студент С. Г. Мішуков, к.т.н., доц. І. А. Андреев

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Типова схема процесу неперервної ректифікації подана на рисунку.



- 1 – ректифікаційна колона; 2 – нагрівач; 3 – ємність для вихідної суміші;  
4 – дефлегматор; 5 – холодильник-конденсатор; 6,8 – збірники; 7 –  
холодильник кубового залишку; 9 – кип'ятильник; 10 – насос;  
11 – розподілювач флегми; 12 – сепаратор.

Рисунок – Схема неперервної дії ректифікаційної установки:

Вихідна суміш з ємності 3 насосом 10 подається в нагрівач 2, де нагрівається водяною парою до температури кипіння, а далі – у

Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

ректифікаційну колону 1. В ректифікаційній колоні 1 відбувається розділення компонентів на висококиплячий і низькокиплячий компоненти. В нижню частину колони стікає рідина, що майже повністю складається з висококиплячого компонента. Частина її (кубовий залишок) безперервно відводиться, а інша частина випарюється за рахунок граючої пари, що підводиться з кип'ятильника 9. В дефлегматорі 4 частина пари конденсується і вертається у колону 1, де стікає зверху вниз у вигляді флегми. Друга частина пари подається в конденсатор 5, де вона конденсується і отриманий дистилят охолоджується. Продукти процесу ректифікації (кубовий залишок і дистилят) збираються у збірниках 8 і 6, відповідно.

Удосконалений холодильник-конденсатор «труба в трубі» 5 містить нове виконання патрубків у вигляді зігнутих на  $90^\circ$  кінцевих ділянок зовнішніх труб. Прямолінійні внутрішні труби, які розміщуються всередині зовнішніх труб, традиційно з'єднуються між собою за допомогою калачів з фланцями. Розташування кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб може здійснюватися в одній площині без повороту одна відносно одної, з поворотом одна відносно одної на  $90^\circ$  чи  $180^\circ$ , що забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі. Запропонована конструкція теплообмінника розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, зменшує матеріаломісткість апарата, а також робить його компактным. А плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника [1].

#### **Перелік посилань:**

1. Пат. 122867 U Україна МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Мікульонюк І.О., Андреев І.А., Мішуков С.Г.; заявник і патентовласник вони ж. – № u 201708938; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

## **НОВА КОНСТРУКЦІЯ ТЕПЛООБМІННИКА «ТРУБА В ТРУБІ»**

студент Мішуков С.Г., студент Пищик Б.І., к.т.н., доц. Андреев І. .

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

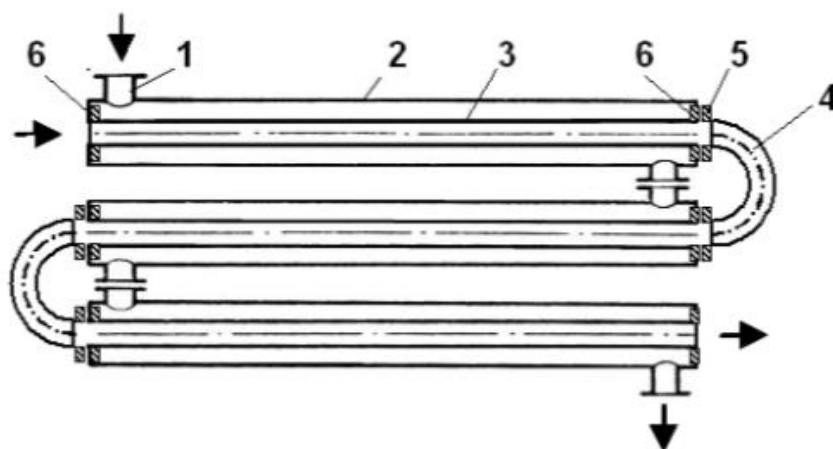
Теплообмінники типу «труба в трубі» є достатньо поширеними трубчастими теплообмінними апаратами в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості, які ефективно працюють у великому діапазоні тисків і характеризуються меншим гідравлічним опором міжтрубного простору порівняно з кожухотрубчастими теплообмінниками. Завдяки значним швидкостям руху теплоносіїв, які можна досягати в таких апаратах, забезпечується збільшення коефіцієнтів теплопередачі та уповільнення відкладення забруднень на стінках труб. Перевагою цих теплообмінників також є можливість їх складання на робочому місці збільшення або зменшення кількості секцій залежно від параметрів технологічного процесу

Стандартний розбірний однопотоковий теплообмінник «труба в трубі» містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями.

Недоліком такого теплообмінника є відносно велика матеріалоемність.

Авторами було запропоновано фланці калачів з'єднувати з внутрішніми трубами за допомогою бобишок, розташованих на торцях зовнішніх труб [1]. Така конструкція дає змогу відмовитися від одного з фланців фланцевих з'єднань калачів. При цьому також зменшується довжина внутрішніх труб, що додатково знижує матеріалоемність теплообмінника в цілому.

Запропонований теплообмінник містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них внутрішні труби 3, з'єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, які з'єднано з внутрішніми трубами 3 за допомогою бобишок 6, розташованих на торцях



1 – патрубок, 2 – зовнішня труба, 3 – внутрішня труба, 4 – калач, 5 – фланець,  
6 – бобишка.

Рисунок – Теплообмінник «труба в трубі»

Теплообмінник працює в такий спосіб.

Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з одної в іншу крізь патрубки 1, а інший теплоносій – по внутрішніх трубах 3, перетікаючи з одної в іншу крізь калачі 4.

Пропонована конструкція знижує матеріалоемність теплообмінника.

#### Перелік посилань:

1. Пат. 122868 U Україна МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Андреев І. А., Мікульонюк І. О., Мішуков С. Г., Пищик Б. І.; заявник і патентовласник вони ж. – № u 201708939; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122867** (13) **U**  
(51) МПК  
**F28D 7/10** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки:	u 2017 08938	(72) Винахідник(и):	Мікульонок Ігор Олегович (UA), Андрєв Ігор Анатолійович (UA), Мішуков Станіслав Геннадійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	08.09.2017	(73) Власник(и):	Мікульонок Ігор Олегович, вул. Райдужна, 10, кв. 137, м. Київ, 02218 (UA), Андрєв Ігор Анатолійович, просп. Леся Курбаса, 18, кв. 136, м. Київ, 03162 (UA), Мішуков Станіслав Геннадійович, вул. Кирпоноса, 11/10, кв. 13, м. Київ, 03190 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.01.2018		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.01.2018, Бюл.№ 2		

**(54) ТЕПЛООБМІННИК "ТРУБА В ТРУБІ"**

**(57) Реферат:**

Теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями. Патрубки утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок зовнішніх труб.

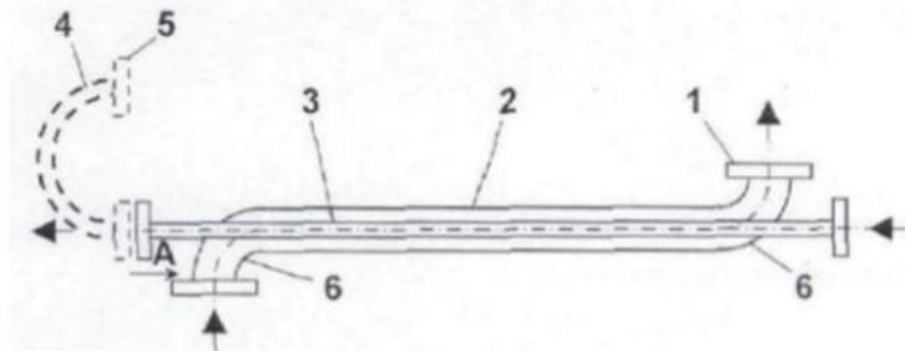


Fig. 1

UA 122867 U

Корисна модель належить до теплообмінної апаратури, зокрема до теплообмінників з трубчастими теплообмінними елементами, і може бути використана в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Найближчим за технічною сутністю до пропонованого технічного рішення є теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями [Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв. Розділ II. Теплові апарати та установки: навч. посіб. / Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонко, В.Л. Ракицький, Г.Л. Рябцев. Київ: НМЦВО, 2004. С 82, рис. 1.23].

Недолік цього теплообмінника - відносно велика матеріалоемність, спричинена наявністю патрубків зовнішніх труб як окремих деталей або складальних одиниць.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення теплообмінника "труба в трубі", у якому нове конструктивне виконання теплообмінника знижує його матеріалоемність, а також гідралічний опір міжтрубного простору.

Поставлена задача вирішується тим, що в теплообміннику "труба в трубі" що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що патрубки утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок зовнішніх труб. У найприйнятніших прикладах виконання теплообмінника кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб розташовано в одній площині без повороту одна відносно одної або кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб повернуто одна відносно одної на 90°, 180°.

Утворення патрубків, що сполучають між собою зовнішні труби, у вигляді зігнутих на 90° їхніх кінцевих ділянок дає змогу відмовитися від патрубків як окремих деталей або складальних одиниць, що знижує матеріалоемність теплообмінника. При цьому плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідралічного опору міжтрубного простору теплообмінника.

Розташування же кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної з поворотом одна відносно одної на 90° чи 180° забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі, що розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, а також робить його компактним, що також знижує його матеріалоемність.

Сутність корисної моделі пояснює креслення.

На Фіг. 1 - загальний вигляд теплообмінника; на Фіг. 2-4 - приклади взаємного розташування патрубків окремої зовнішньої труби.

Теплообмінник "труба в трубі" містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби 3, з'єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, при цьому патрубки 1 утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок 6 зовнішніх труб 2 (Фіг. 1). При цьому кінцеві ділянки 6 кожної із зовнішніх труб 2 можуть бути розташовано в одній площині без повороту одна відносно одної (див. Фіг. 2) або повернуто одна відносно одної на 90° (Фіг. 3) чи 180° (Фіг. 1, 4).

Теплообмінник працює в такий спосіб.

Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з одної в іншу крізь патрубки 1, а інший теплоносіє - по внутрішніх трубах 3, перетікаючи з одної в іншу крізь калачі 4.

Пропонована корисна модель знижує матеріалоемність теплообмінника та гідралічний опір його міжтрубного простору.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них прямолінійні внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями, який **відрізняється** тим, що патрубки утворено у вигляді зігнутих на 90° кінцевих ділянок зовнішніх труб.
2. Теплообмінник за п. 1, який **відрізняється** тим, що кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб розташовано в одній площині без повороту одна відносно одної.
3. Теплообмінник за п. 1, який **відрізняється** тим, що кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб повернуто одна відносно одної на 90°, 180°.

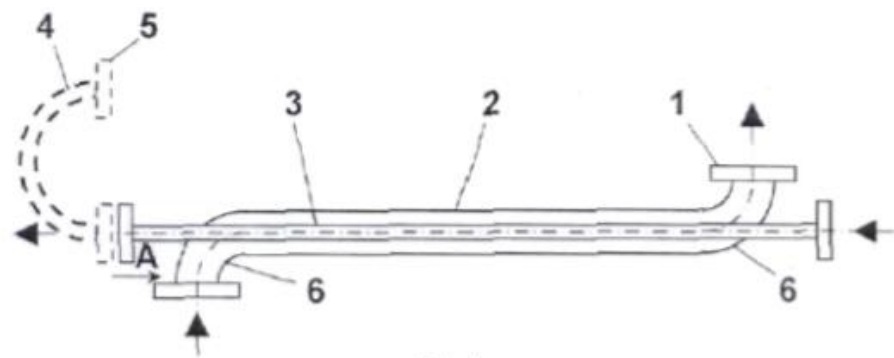


Fig. 1

A

A

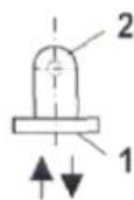


Fig. 2

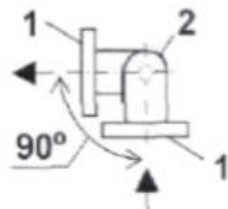


Fig. 3

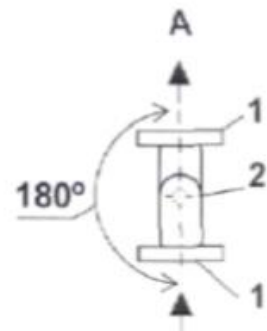


Fig. 4

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601





МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122868** (13) **U**  
(51) МПК  
**F28D 7/10** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2017 08939**  
(22) Дата подання заявки: **08.09.2017**  
(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.01.2018**  
(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.01.2018, Бюл.№ 2**

(72) Винахідник(и):  
**Андрєв Ігор Анатолійович (UA),  
Мікульонок Ігор Олегович (UA),  
Мішуков Станіслав Геннадійович (UA),  
Пищик Богдан Ігорович (UA)**  
(73) Власник(и):  
**Андрєв Ігор Анатолійович,  
просп. Леся Курбаса, 18, кв. 136, м. Київ,  
03162 (UA),  
Мікульонок Ігор Олегович,  
вул. Райдужна, 10, кв. 137, м. Київ, 02218  
(UA),  
Мішуков Станіслав Геннадійович,  
вул. Кирпоноса, 11/10, кв. 13, м. Київ, 03190  
(UA),  
Пищик Богдан Ігорович,  
вул. С. Білого, 6, м. Фастів, 08500 (UA)**

**(54) ТЕПЛООБМІННИК "ТРУБА В ТРУБІ"**

**(57) Реферат:**

Теплообмінник "труба в трубі" містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями. Фланці калачів з'єднано з внутрішніми трубами за допомогою бобишок, розташованих на торцях зовнішніх труб.

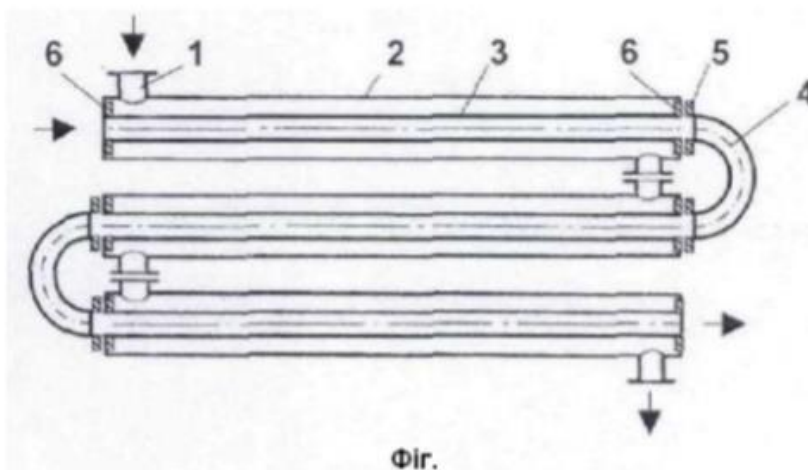


Fig.

UA 122868 U

Корисна модель належить до теплообмінної апаратури, зокрема до теплообмінників з трубчастими теплообмінними елементами, і може бути використана в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості.

Найближчим за технічною сутністю до пропонованого технічного рішення є теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями [Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв. Розділ II. Теплові апарати та установки: навч. посіб. / Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л. Рябцев. Київ: НМЦВО, 2004. С. 82, рис. 1.23].

Недолік цього теплообмінника - відносно велика матеріалоемність.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення теплообмінника "труба в трубі", у якому нове конструктивне виконання теплообмінника знижує його матеріалоемність.

Поставлена задача вирішується тим, що в теплообміннику "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями, згідно з пропонованою корисною моделлю, новим є те, що фланці калачів з'єднано з внутрішніми трубами за допомогою бобишок, розташованих на торцях зовнішніх труб.

З'єднання фланців калачів з внутрішніми трубами за допомогою бобишок, розташованих на торцях зовнішніх труб, дає змогу відмовитися від одного з фланців фланцевих з'єднань калачів. При цьому також зменшується довжина внутрішніх труб, що додатково знижує матеріалоемність теплообмінника в цілому.

Суть корисної моделі пояснює креслення.

На кресленні зображено загальний вигляд теплообмінника.

Теплообмінник "труба в трубі" містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них внутрішні труби 3, з'єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, які з'єднано з внутрішніми трубами 3 за допомогою бобишок 6, розташованих на торцях зовнішніх труб 2 (Фіг.).

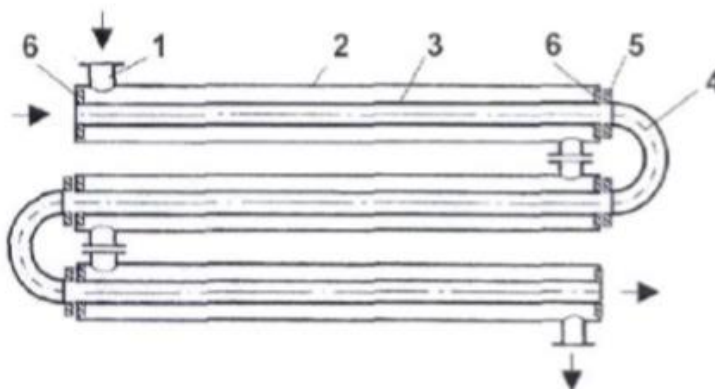
Теплообмінник працює в такий спосіб.

Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з одної в іншу крізь патрубки 1, а інший теплоносій - по внутрішніх трубах 3, перетікаючи з одної в іншу крізь калачі 4.

Пропонована корисна модель знижує матеріалоемність теплообмінника.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Теплообмінник "труба в трубі", що містить з'єднані між собою за допомогою патрубків зовнішні труби й розміщені в них внутрішні труби, з'єднані між собою за допомогою калачів з фланцями, який відрізняється тим, що фланці калачів з'єднано з внутрішніми трубами за допомогою бобишок, розташованих на торцях зовнішніх труб.



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601

УДК 542.45-023.846-026.325(048.83)

**Андреев Игорь Анатолійович**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Андреев Игорь Анатоліевич**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Andreyev Igor**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Мікульонюк Ігор Олегович**

*доктор технічних наук, професор*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Микульёнок Игорь Олегович**

*доктор технических наук, профессор*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Mykuljonok Igor**

*Doctor of Technical Sciences, Professor*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Мішуков Станіслав Геннадійович**

*студент*

*Національного технічного університету України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Мишуков Станислав Геннадиевич**

*студент*

*Национального технического университета Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Mishukov Stanislav**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Пищик Богдан Ігорович**

*студент*

*Національного технічного університету України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Пищик Богдан Игоревич**

*студент*

*Национального технического университета Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Pischik Bogdan**

*Student of the*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННИКІВ «ТРУБА В ТРУБІ»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКА «ТРУБА В ТРУБЕ»

## EFFICIENCY IMPROVEMENT OF THE HEAT EXCHANGER «PIPE IN PIPE»

**Анотація.** Теплообмінники типу «труба в трубі» є достатньо поширеними трубчастими теплообмінними апаратами в хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній та споріднених галузях промисловості, які ефективно працюють у великому діапазоні тисків і характеризуються меншим гідравлічним опором міжтрубного простору порівняно з кожухотрубчастими теплообмінниками. Завдяки значним швидкостям руху теплоносіїв, які можна досягати в таких апаратах, забезпечується збільшення коефіцієнтів теплопередачі та уповільнення відкладення забруднень на стінках труб. Перевагою цих теплообмінників також є можливість їх складання на робочому місці збільшенням або зменшенням кількості секцій залежно від параметрів технологічного процесу [1].

Теплообмінники «труба в трубі» можуть виготовлятися нерозбірними і розбірними. Нерозбірні однопотоківі теплообмінники використовуються для чистих теплоносіїв, що не дають відкладень, тобто коли відпадає потреба в механічному очищенні поверхні теплообмінних труб від забруднень. Розбірні однопотоківі теплообмінники забезпечують можливість вилучення теплообмінних труб для їх заміни або механічного очищення за межами апарата.

Для великих витрат робочих середовищ застосовуються многопотоківі теплообмінні апарати цього типу.

Для інтенсифікації процесу тепловіддачі труби виконують з подовжніми, поперечними або спіральними ребрами, виступами й западинами тощо.

Також крім традиційних металів і сплавів для виготовлення теплообмінної апаратури все частіше застосовують різноманітні полімерні матеріали. У тому числі й композиційні, властивості яких можна прогнозувати на етапі розроблення їхнього складу [2].

Традиційні конструкції теплообмінників типу «труба в трубі» відпрацьовані у виробництві та експлуатації, проте навіть вони потребують вдосконалення. Тому дослідження з модернізації теплообмінної апаратури продовжуються і зараз. Далі розглянуто вдосконалені конструкції теплообмінників типу «труба в трубі», запропоновані працівниками Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Ключові слова:** теплообмінник, труба в трубі, фланець, апарат.

**Аннотация.** Теплообменники типа «труба в трубе» есть достаточно распространенными трубчатыми теплообменными аппаратами в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, теплоэнергетической и родственных отраслях промышленности, эффективно работают в большом диапазоне давлений и характеризуются меньшим гидравлическим сопротивлением межтрубного пространства по сравнению с кожухотрубными теплообменниками. Благодаря значительным скоростям движения теплоносителей, которые можно достигать в таких аппаратах, обеспечивается увеличение коэффициентов теплопередачи и замедление отложения загрязнений на стенках труб.

Преимуществом этих теплообменников есть также возможность их сборки на рабочем месте увеличением или уменьшением количества секций в зависимости от параметров технологического процесса [1].

Теплообменники «труба в трубе» могут изготавливаться неразборными и разборными. Неразборные однопотокые теплообменники используются для чистых теплоносителей, не имеют отложений, то есть тогда отпадает необходимость в механической очистке поверхности теплообменных труб от загрязнений. Разборные однопотокые теплообменники обеспечивают возможность извлечения теплообменных труб для их замены или механической очистки за пределами аппарата.

Для больших затрат рабочих сред применяются многопотковые теплообменные аппараты этого типа.

Для интенсификации процесса теплоотдачи трубы выполняют с продольными, поперечными или спиральными ребрами, выступами и впадинами и тому подобное.

Также помимо традиционных металлов и сплавов для изготовления теплообменной аппаратуры все чаще применяют различные полимерные материалы. В том числе и композиционные, свойства которых можно прогнозировать на этапе разработки их состав [2].

Традиционные конструкции теплообменников типа «труба в трубе» отработаны в производстве и эксплуатации, однако даже они нуждаются в совершенствовании. Поэтому исследования по модернизации теплообменной аппаратуры продолжаются и сейчас. Далее рассмотрены усовершенствованные конструкции теплообменников типа «труба в трубе», предложенные работниками Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

**Ключевые слова:** теплообменник, труба в трубе, фланец, аппарат.



**Summary.** Heat exchangers of the «pipe in pipe» type are fairly common tubular heat exchangers in the chemical, oil refining, food, heat and energy, and related industries, they effectively operate in a large pressure range and are characterized by a lower hydraulic resistance of the annulus compared to shell-and-tube heat exchangers. Due to the significant speeds of movement of coolants that can be achieved in such devices, an increase in the coefficients of heat transfer and slowing the deposition of contaminants on the walls of pipes is ensured.

The advantage of these heat exchangers is also the possibility of assembling them at the workplace by increasing or decreasing the number of sections depending on the parameters of the technological process [1].

Heat exchangers «pipe in pipe» can be made non-separable and collapsible. Non-separable single-flow heat exchangers are used for clean coolants, have no deposits, that is, then there is no need for mechanical cleaning of the surface of heat exchange tubes from contamination. Folding single-flow heat exchangers provide the ability to extract heat exchange tubes for their replacement or mechanical cleaning outside the apparatus.

Also, in addition to traditional metals and alloys, various polymeric materials are increasingly being used for the manufacture of heat exchange equipment. Including compositional, whose properties can be predicted at the development stage of their composition [2].

Traditional designs of tube-in-tube heat exchangers have been developed in production and operation, but even they need to be improved. Therefore, research on the modernization of heat exchange equipment continues today. Further, the improved designs of heat exchangers of the «pipe in pipe» type proposed by the staff of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» are considered.

**Key words:** heat exchanger, pipe in pipe, flange, apparatus.

Для підвищення турбулізації потоку теплоносія в центральній трубі запропоновано виконувати розташовані на внутрішній поверхні калачів спіральні ребра, що забезпечує закручування потоку, а отже й підвищення ефективності процесу теплообміну [3]. Під час роботи теплообмінника один з теплоносіїв рухається по зовнішніх трубах 2, перетікаючи з однієї в іншу крізь патрубки 1, а інший теплоносіїв — по внутрішніх трубах 3, перетікаючи з однієї в іншу крізь калачі 4 з фланцями 5, під час проходження яких завдяки спіральним ребрам 6 він набуває спірального руху, що інтенсифікує процес тепловіддачі у внутрішніх трубах 3 (рис. 1, 2).

Забезпечення закручування потоку трубного простору з одночасним захистом калачів від гідроерозійного зношування можна здійснити також за рахунок розміщення всередині кожного калача трубчастої полімерної вставки зі спіральними ребрами на її внутрішній поверхні [4]. Такий теплообмінник містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 і розміщені в них внутрішні труби 3, з'єднані між собою за допомогою калачів 4 з фланцями 5, при цьому всередині кожного калача 4 розміщено трубчасту полімерну вставку 6 зі спіральними ребрами 7 на її внутрішній поверхні. На одному з торців кожної трубчастої полімерної вставки 6 може бути виконано розбортовку 8 для її розміщення в западині фланця 5, що забезпечує фіксацію в калачі 4 трубчастої полімерної вставки 6 в осьовому напрямку (рис. 1, 3).

Знизити матеріалоемність теплообмінника можна за рахунок виконання фланців криволінійних патрубків

внутрішніх труб горизонтальними, що дає змогу зменшити кількість фланцевих з'єднань зазначених патрубків з внутрішніми трубами з двох до одного. Крім того, таке виконання фланців спрощує складання й розбирання теплообмінника [5]. Удосконалений теплообмінник «труба в трубі» містить сукупність співвісно розміщених горизонтальних труб 1 і 2, зовнішні з яких (труби 1) з'єднані між собою за допомогою прямолінійних патрубків 3 з горизонтальними фланцями 4, а внутрішні (труби 2) — криволінійних патрубків 5 з горизонтальними фланцями 6 (рис. 4).

Зниження матеріалоемності теплообмінника досягається також при використанні ще однієї пропозиції [6]. У цьому випадку теплообмінник містить з'єднані між собою за допомогою патрубків 1 зовнішні труби 2 й розміщені в них внутрішні труби 3, які споряджені на своїх кінцевих ділянках фланцями 4. При цьому одну з кінцевих ділянок 5 кожної з внутрішніх труб 3 виконано зігнутою з кутом згину 180°, а другу (ділянку 6) — прямолінійною (рис. 5). Виконання внутрішніх труб із зазначеними відмітками

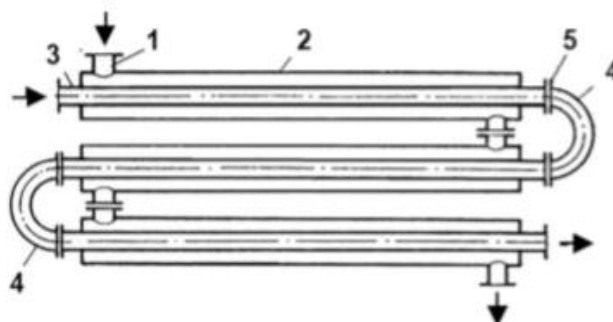


Рис. 1. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі»

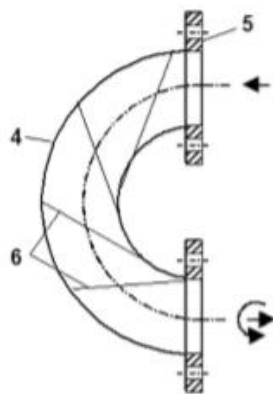


Рис. 2. Поздовжній розріз калача зі спіральними ребрами

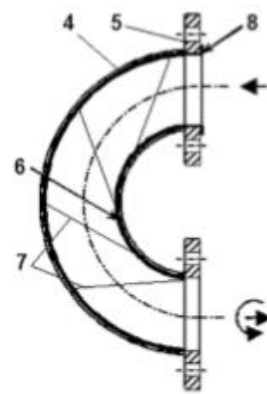


Рис. 3. Поздовжній розріз калача з полімерною вставкою

ознаками дає змогу відмовитися від калачів як таких і, відповідно, додаткових фланцевих з'єднань, що і знижує матеріалоемність теплообмінника. Крім того, зменшення кількості фланцевих з'єднань також підвищує надійність теплообмінника.

Для зниження матеріалоемності і, одночасно, гідравлічного опору міжтрубного простору запропоновано патрубків утворювати у вигляді зігнутих на  $90^\circ$  кінцевих ділянок зовнішніх труб. У найприйнятніших прикладах виконання теплообмінника кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб розташовано в одній площині без повороту одна відносно одної або кінцеві ділянки кожної із зовнішніх труб повернуто одна відносно одної на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  [7]. Така конструкція дає змогу відмовитися від патрубків як окремих деталей або складальних одиниць, що знижує матеріалоемність теплообмін-

ника. При цьому плавний згин кінцевих ділянок зовнішніх труб сприяє зниженню гідравлічного опору міжтрубного простору теплообмінника. Розташування ж кінцевих ділянок кожної із зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної, з поворотом одна відносно одної на  $90^\circ$  чи  $180^\circ$  забезпечує складання теплообмінника майже з довільним розташуванням зовнішніх труб у просторі, що розширює технологічні можливості теплообмінника в цілому, а також робить його компактним, що також знижує його матеріалоемність (рис. 6).

Для зниження гідроерозійного зношування калачів, а також зменшення теплових втрат з їхньої поверхні в навколишнє середовище на внутрішню поверхню калачів пропонується наносити антифрикційне теплоізоляційне покриття, наприклад, з політетрафторетилену [8]. Таке виконання підвищує надійність та ефективність теплообмінника в цілому.

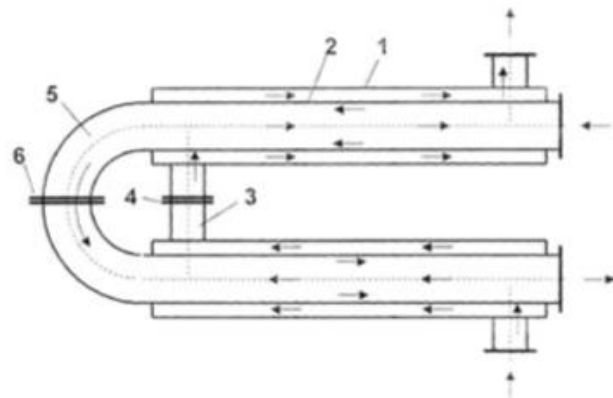


Рис. 4. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі» з горизонтальними фланцями криволінійних патрубків внутрішніх труб

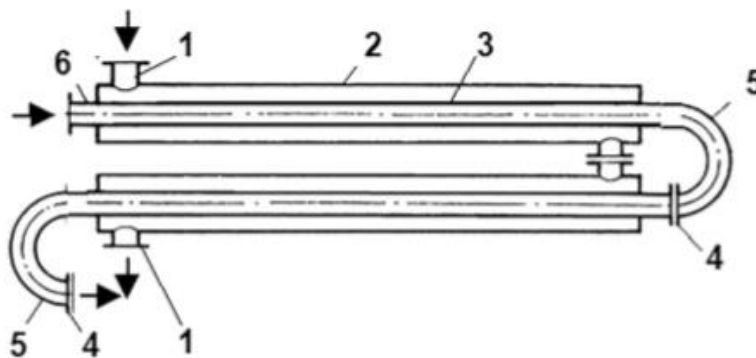


Рис. 5. Загальний вигляд теплообмінника «труба в трубі» зі зміненими внутрішніми трубами

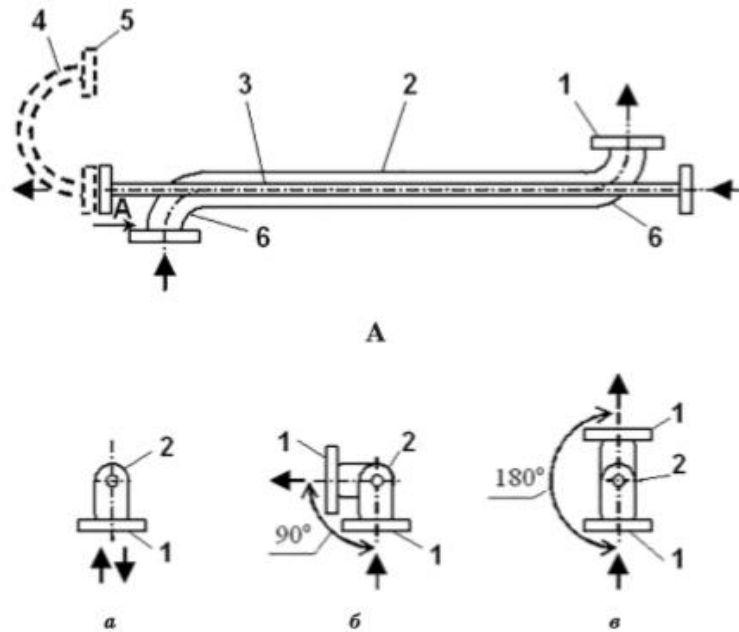


Рис. 6. Теплообмінник «труба в трубі» з розташуванням кінцевих ділянок зовнішніх труб в одній площині без повороту одна відносно одної (а), з поворотом на  $90^\circ$  (б) і на  $180^\circ$  (в):  
1 — патрубок; 2 — зовнішня труба; 3 — внутрішня труба; 4 — калач, 5 — фланець;  
6 — кінцева ділянка зовнішньої труби

Застосування на практиці удосконалених теплообмінних апаратів дає змогу підвищити ефективність проведення технологічних процесів, а також підвищити надійність технологічного обладнання.

При цьому для детального обґрунтування ефективності роботи таких апаратів у подальшому планується виконати відповідні експериментальні дослідження.

#### Література

1. Тимонин А. С. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования: в 3-х т. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002.
2. Микуньон І. О. Класифікація термопластических композиційних матеріалів і їх наповнителів / Пластические массы, — 2012. — № 9. — С. 29–38.
3. Пат. 120697 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Микуньон, І. А. Андрєв, Д. В. Панченко; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201705799; заявл. 12.06.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21.
4. Пат. 121939 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Микуньон, І. А. Андрєв, А. А. Довгошея; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201705544; заявл. 06.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.
5. Пат. 112663 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. А. Андрєв, І. О. Микуньон, С. М. Гайдін; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201606503; заявл. 14.06.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.
6. Пат. 122866 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. А. Андрєв, І. О. Микуньон, Б. І. Пищик; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201708937; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
7. Пат. 122867 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Микуньон, І. А. Андрєв, С. Г. Мішуков; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201708938; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
8. Пат. 122868 У Україна МПК(2006.01) F28D7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / І. О. Микуньон, І. А. Андрєв, С. Г. Мішуков, Б. І. Пищик; заявник і патентовласник — вони ж. — № у 201708939; заявл. 08.09.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.